

李菁,侯富,李丽丽,等. 小麦 *Pm21* 抗白粉病基因新种质筛选及其抗性鉴定[J]. 江苏农业科学,2024,52(21):162-165.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.21.020

# 小麦 *Pm21* 抗白粉病基因新种质筛选及其抗性鉴定

李菁<sup>1,2,3</sup>, 侯富<sup>1,2,3</sup>, 李丽丽<sup>1,2,3</sup>, 王永军<sup>1,2,3</sup>, 潘丽媛<sup>1,2,3</sup>, 李海军<sup>1,2,3</sup>, 陈一鸣<sup>1,2</sup>, 孙苏阳<sup>1,2,3</sup>

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001; 2. 江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心,江苏南京 210014;  
3. 生物育种钟山实验室,江苏南京 210014)

**摘要:**为进一步加强小麦白粉病抗性基因 *Pm21* 在黄淮冬麦区的育种利用,选用 100 份近年来审定的小麦品种、后备品系等开展 *Pm21* 分子标记检测,同时进行白粉病苗期单小种抗性鉴定,并对苗期单小种抗性材料进行成株期田间自然发病抗性鉴定。结果表明,内麦 8 号等 7 份材料携带 *Pm21* 抗白粉病基因,且除南农 9918 外,其余 6 份材料均来自西南冬麦区;表型鉴定结果表明,含有 *Pm21* 抗病基因的 7 份材料在苗期均对 E09 小种表现为抗性,且成株期仍保持抗性。另外,有 26 份材料在苗期对 E09 小种表现为抗性,但成株期不抗,且不含有 *Pm21* 基因,推测其可能含有其他白粉病单小种抗病基因。

**关键词:**小麦;*Pm21* 基因;抗白粉病;种质资源;抗性鉴定

**中图分类号:**S512.103.7;S435.121.4<sup>+</sup>6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)21-0162-04

小麦白粉病是由布氏白粉菌 (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) 引起的植物病害,以子囊孢子或分生孢子通过气流进行传播,属于气传性病害,其主要特征为叶面覆盖白色粉状物<sup>[1]</sup>。该病害的发生和流行与气候、土壤和病原体的种类等因素密切相关<sup>[2]</sup>。小麦白粉病菌短暂的生命周期使得它在小

麦群体中迅速传播,给农业生产造成重大损害。小麦白粉病是影响江苏省小麦生产的主要病害之一。因此,培育抗白粉病小麦新品种,对降低农户种植成本、保障粮食安全具有重大意义。

研究表明,遗传改良是预防小麦白粉病的一个重要途径。通过基因定位、克隆和功能研究,已经从小麦及其近缘物种中得到了 90 多个与小麦白粉病抗性相关的基因<sup>[3]</sup>,这为小麦品种的遗传改良提供了有力支持。其中,*Pm21* 基因被发现能够显著提高植物的抗病性能,也是针对目前流行的白粉病菌株依旧保持抗性的一个基因。*Pm21* 来源于英国剑桥的簇毛麦,以 T6VS.6AL 易位形式在长江中下游麦区和西南麦区得到较为广泛的应用<sup>[4]</sup>。而通过分子标记检测,可以提前知晓植株中是否含有目的基因,进而提高选择效率,进一步缩短育种年限,

收稿日期:2024-07-09

基金项目:淮安市农业科学研究院科技发展基金(编号:HNY202115、HNY202211);江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目(编号:JBGS[2021]051);江苏现代农业产业技术体系建设项目(编号:JATS[2023]190);淮安市自然科学研究计划(指导性)项目(编号:HABZ202228)。

作者简介:李菁(1995—),女,河南三门峡人,硕士,研究实习生,研究方向为小麦遗传育种。E-mail:453165085@qq.com。

通信作者:孙苏阳,研究员,研究方向为小麦高效育种。E-mail:ssy6688@163.com。

1279.

[46] 邓凤飞,杨双龙,龚明. 细胞信号分子对非生物胁迫下植物脯氨酸代谢的调控[J]. 植物生理学报,2015(10):1573-1582.

[47] 杨佳丽,荆志怀,张星,等. L-谷氨酸对苹果果实抗氧化能力的影响[J]. 食品工业,2020,41(11):213-216.

[48] 林海涛,史衍玺. 铅、镉胁迫对茶树根系分泌有机酸的影响[J]. 山东农业科学,2005,37(2):32-34.

[49] 曹继璇. GSNOR 在 GABA 诱导番茄果实抗灰霉病中的作用研究[D]. 泰安:山东农业大学,2021:1-3.

[50] 毛常丽,李玲,杨涵,等. 橡胶树‘云研 77-4’无性系幼苗低温胁迫后的代谢组学分析[J/OL]. 分子植物育种,2022;1-16(2022-03-24)[2023-11-02]. <https://kns.cnki.net/>

kcms/detail/46.1068.S.20220322.2041.012.html.

[51] Posakony J J, Ferré-D'Amaré A R. Glucosamine and glucosamine-6-phosphate derivatives; catalytic cofactor analogues for the *glmS* ribozyme[J]. The Journal of Organic Chemistry, 2013, 78(10): 4730-4743.

[52] Balmer A, Pastor V, Glauser G, et al. Tricarboxylates induce defense priming against bacteria in *Arabidopsis thaliana* [J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9:1221.

[53] 李俊伟,刘景辉,赵宝平,等. 盐碱胁迫下燕麦叶片代谢组差异分析[J]. 草业科学,2023,40(10):2607-2618.

[54] 张志东,段兴鹏,周玉梅,等. 大丽轮枝菌侵染陆地棉早期的转录组分析[J]. 棉花学报,2017,29(3):253-260.

是小麦定向遗传改良的一种重要手段。

本研究对 100 份近年来审定的小麦品种、后备品系等进行 *Pm21* 分子标记检测,明确 *Pm21* 基因分布情况;并结合白粉病苗期单小种抗病性鉴定,及部分材料成株期抗病性鉴定,明确抗病基因真实性及材料抗性,为有针对性地配置杂交组合、选育抗病新品种奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试材料共 100 份,均为近年来育成的品种或高代品系,由笔者所在课题组自行收集。已知携带 *Pm21* 抗病基因的阳性对照材料为扬麦 33。感病对照为苏麦 3 号,用于接种的菌株为目前流行的强毒性致病菌 E09 白粉菌菌株,均由江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所吴纪中研究员提供。

### 1.2 抗白粉病基因 *Pm21* 的标记检测

在供试小麦生长至 2 叶 1 心时,取叶片,用 CTAB 法提取基因组 DNA。*Pm21* 分子鉴定引物序列为 F:5'-CACTCTCCTCCACTAACAGAGG-3';R:5'-GTTTGTTTCACGTTGAATGAATTC-3'<sup>[5]</sup>,由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

采用 10  $\mu$ L 扩增体系,扩增程序为:94  $^{\circ}$ C 预变性 3 min;94  $^{\circ}$ C 变性 1 min,55  $^{\circ}$ C 退火 1 min,72  $^{\circ}$ C 延伸 2 min,循环 40 次;72  $^{\circ}$ C 延伸 5 min。扩增产物利用 1.0% 琼脂糖凝胶电泳检测。

### 1.3 白粉病抗性鉴定

1.3.1 苗期鉴定 采用人工接菌法鉴定。将小麦种子播在 72 孔的穴盘,供试品种及感病对照各播种 20 粒。于幼苗 1 叶期人工接种,将充分发病的足量苏麦 3 号叶片置于待接叶片上方,轻轻抖落病菌孢子。接种 7 d 后当感病对照表现出明显病症时调查病情,按照盛宝钦的 0~4 级分类方法<sup>[6]</sup>,2 级中抗

为抗感标准(叶片病斑直径小于 1 mm,但菌丝层较厚,不透绿,能产生一定量孢子)。评价时,症状比 2 级更严重则判定为感病(S),症状与 2 级相同或轻于 2 级,则判定为抗病(R)。

1.3.2 成株期鉴定 采用自然发病。选取苗期表现为抗病的材料,种植于温室大棚内,每个材料播种 10 粒。待植株进入拔节期时,勤浇水,保持环境湿润,持续观察发病情况。在小麦抽穗时白粉病盛发期,按照《小麦品种试验记载项目与标准》记载发病严重程度:1 级,叶片无肉眼可见症状;2 级,基部叶片发病;3 级,病斑蔓延至中部叶片;4 级,病斑蔓延至剑叶;5 级,病斑蔓延至穗及芒。

## 2 结果与分析

### 2.1 *Pm21* 的分子标记检测

利用分子标记 SCAR1265 对 100 份材料进行检测,阳性对照为扬麦 33。检测结果表明,仅南农 9918、绵麦 1501、绵麦 51、南麦 660、内麦 366、内麦 8 号、西科 546 等 7 份材料能够扩增出与阳性对照相同的特异性片段(图 1),占试验材料总数的 7%,其中 6 份材料来自西南冬麦区;1 份材料来自长江中下游冬麦区;而 76 份黄淮冬麦区材料均未检测到 *Pm21* 抗病基因。

### 2.2 白粉病抗性鉴定

利用国内白粉病流行菌种 E09 小种对 100 份育成品种(系)进行苗期抗性鉴定,结果表明,对 E09 小种表现为抗性的材料共有 33 份,占比 33%。来自黄淮冬麦区的材料共 76 份,表现苗期抗性的有 23 份,占比 30.26%;来自西南冬麦区的小麦品种(系)有 21 份,表现为苗期抗性的材料有 9 份,占比 42.86%;来自长江中下游冬麦区的小麦品种(系)有 3 份,表现为苗期抗性的材料有 1 份,占比 33.33%(表 1)。对苗期表现为抗病的 33 份材料进

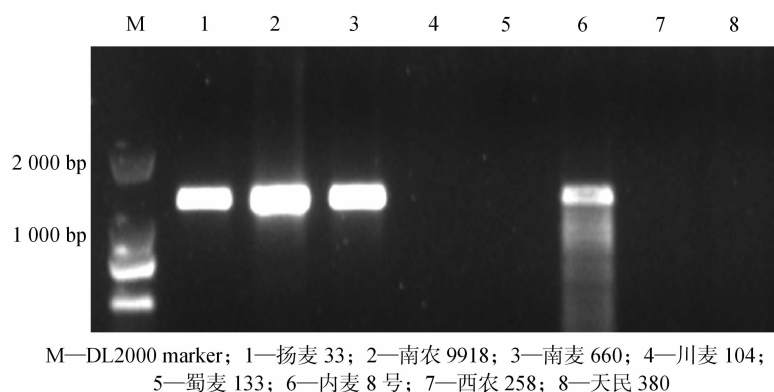


图 1 部分供试小麦品种(系)*Pm21* 检测结果

表 1 100 份小麦品种(系)抗白粉病鉴定结果  
及 Pm21 抗病基因检测结果

表 1(续)

序号	名称	麦区	苗期 E09 单 小种抗性	成株期 严重度 (级)	Pm21
1	南农 9918	长江中下游冬麦区	R	1	+
2	保麦 1702	黄淮冬麦区	R	4	-
3	保 17223	黄淮冬麦区	R	4	-
4	保麦 1902	黄淮冬麦区	R	4	-
5	焦点麦 1212	黄淮冬麦区	R	4	-
6	焦点麦 M02	黄淮冬麦区	S	-	-
7	泰麦 337	黄淮冬麦区	S	-	-
8	泰建 1901	黄淮冬麦区	S	-	-
9	江麦 128	黄淮冬麦区	S	-	-
10	江麦 1607	黄淮冬麦区	R	4	-
11	江麦 16164	黄淮冬麦区	S	-	-
12	航麦 905	黄淮冬麦区	S	-	-
13	航麦 2008	黄淮冬麦区	R	4	-
14	华麦 29109	黄淮冬麦区	S	-	-
15	华麦 28122	黄淮冬麦区	S	-	-
16	黄淮 168	黄淮冬麦区	S	-	-
17	迁麦 8207	黄淮冬麦区	S	-	-
18	西农 1366	黄淮冬麦区	R	3	-
19	西农 5811	黄淮冬麦区	S	-	-
20	西纯 918	黄淮冬麦区	R	3	-
21	冠麦 12	黄淮冬麦区	S	-	-
22	南麦 618	西南冬麦区	R	3	-
23	豫粮 9 号	黄淮冬麦区	S	-	-
24	Y051	黄淮冬麦区	S	-	-
25	河师麦 121 号	黄淮冬麦区	S	-	-
26	咸麦 519	黄淮冬麦区	S	-	-
27	现麦 686	黄淮冬麦区	R	4	-
28	富麦 916	黄淮冬麦区	S	-	-
29	蜀麦 126	西南冬麦区	R	3	-
30	蜀麦 969	西南冬麦区	S	-	-
31	蜀麦 2005	西南冬麦区	S	-	-
32	安麦 11	黄淮冬麦区	R	3	-
33	鸿麦 519	黄淮冬麦区	S	-	-
34	川麦 104	西南冬麦区	S	-	-
35	川麦 30	西南冬麦区	S	-	-
36	川麦 58	西南冬麦区	S	-	-
37	川麦 604	西南冬麦区	S	-	-
38	川麦 66	西南冬麦区	S	-	-
39	川麦 93	西南冬麦区	S	-	-
40	川育 25	西南冬麦区	S	-	-
41	川育 29	西南冬麦区	S	-	-
42	国豪麦 15	西南冬麦区	R	3	-
43	绵麦 1501	西南冬麦区	R	1	+
44	绵麦 51	西南冬麦区	R	1	+
45	南麦 660	西南冬麦区	R	1	+
46	内麦 366	西南冬麦区	R	1	+
47	内麦 8 号	西南冬麦区	R	1	+
48	蜀麦 133	西南冬麦区	S	-	-
49	西科 546	西南冬麦区	R	1	+
50	中偃 279	黄淮冬麦区	R	4	-

序号	名称	麦区	苗期 E09 单 小种抗性	成株期 严重度 (级)	Pm21
51	西农 5189	黄淮冬麦区	S	-	-
52	YX2021	黄淮冬麦区	S	-	-
53	沈科 257	黄淮冬麦区	S	-	-
54	艺麦 211	黄淮冬麦区	S	-	-
55	KT2021	黄淮冬麦区	S	-	-
56	九圣禾 169	黄淮冬麦区	S	-	-
57	濮马 531	黄淮冬麦区	R	4	-
58	新丰 79	黄淮冬麦区	R	4	-
59	新麦 78	黄淮冬麦区	R	4	-
60	华成 138	黄淮冬麦区	R	4	-
61	永丰 308	黄淮冬麦区	S	-	-
62	衡麦 28	黄淮冬麦区	R	4	-
63	郑麦 1921	黄淮冬麦区	S	-	-
64	濮兴 35 号	黄淮冬麦区	S	-	-
65	周师 2182	黄淮冬麦区	R	4	-
66	西农 306	黄淮冬麦区	S	-	-
67	秦丰 116	黄淮冬麦区	S	-	-
68	西农 258	黄淮冬麦区	S	-	-
69	天民 380	黄淮冬麦区	R	4	-
70	豫同 120	黄淮冬麦区	S	-	-
71	兴华 206	黄淮冬麦区	S	-	-
72	西农 827	黄淮冬麦区	S	-	-
73	漯研 201	黄淮冬麦区	R	4	-
74	泛育麦 37	黄淮冬麦区	S	-	-
75	中麦 6312	黄淮冬麦区	S	-	-
76	苑丰 22	黄淮冬麦区	S	-	-
77	GY13029	黄淮冬麦区	S	-	-
78	中麦 9198	黄淮冬麦区	R	4	-
79	航麦 441	黄淮冬麦区	S	-	-
80	华皖麦 5 号	黄淮冬麦区	S	-	-
81	华皖麦 14083	黄淮冬麦区	S	-	-
82	安麦 27	黄淮冬麦区	S	-	-
83	14RH35A	黄淮冬麦区	S	-	-
84	淮核 19032	黄淮冬麦区	R	4	-
85	淮核 21235	黄淮冬麦区	S	-	-
86	中麦 716	黄淮冬麦区	S	-	-
87	安麦 20	黄淮冬麦区	S	-	-
88	苑丰 520	黄淮冬麦区	S	-	-
89	柳麦 521	黄淮冬麦区	S	-	-
90	淮麦 521	黄淮冬麦区	S	-	-
91	淮麦 33	黄淮冬麦区	S	-	-
92	百农 608	黄淮冬麦区	R	3	-
93	百农 4199	黄淮冬麦区	S	-	-
94	百农 5819	黄淮冬麦区	S	-	-
95	济麦 44	黄淮冬麦区	R	3	-
96	新麦 38	黄淮冬麦区	S	-	-
97	西农 1125	黄淮冬麦区	S	-	-
98	南农 0686	长江中下游冬麦区	S	-	-
99	扬麦 15	长江中下游冬麦区	S	-	-
100	川麦 42	西南冬麦区	S	-	-

注:R 表示抗病;S 表示感病;+ 表示含有所测基因;- 表示未检出所测基因。

行成株期自然发病,抗性鉴定结果表明,表现为成株期抗白粉病(严重度为 1 级)的材料共有 7 份,它们主要来自西南冬麦区。严重度为 3 级的材料共有 8 份,占比 24.24%;严重度为 4 级的材料有 18 份,占比 54.54%。经分子鉴定含有 *Pm21* 抗病基因的 7 份材料,在苗期和成株期均表现出抗性。

### 3 讨论与结论

各个麦区的育种家针对不同生态环境对品种抗病性的选择有所差异。本试验研究结果表明,西南冬麦区的品种无论苗期还是成株期白粉病抗病性都要略优于黄淮冬麦区的品种,结合 *Pm21* 抗病基因在材料中的分布结果来看,西南冬麦区的品种对 *Pm21* 的利用率较高,这可能是其抗性较好的原因之一。对国审小麦品种白粉病抗性水平的研究发现,抗性水平为长江上游麦区 > 长江中下游麦区 > 黄淮北片麦区 > 北部冬麦区 > 黄淮南片麦区 > 黄淮冬麦早播组、东北西北春麦区,本研究的结果与之基本一致。我国各大麦区的白粉病育种中,长江流域麦区和黄淮北片麦区占有领先地位,近 5 年审定了部分高抗、中抗白粉病小麦品种,但此类品种在各麦区中所占比例还比较低。2019—2023 年黄淮北片和黄淮南片麦区国审小麦品种对主要病害的抗性水平中,白粉病虽有所增强,但抗性水平仍以中感和高感为主<sup>[7]</sup>。本研究中黄淮冬麦区小麦品种占比较高,但抗白粉病品种占比较小,黄淮冬麦区抗白粉病小麦新品种的培育力度有待进一步增强。

本研究中分子鉴定含有 *Pm21* 基因的材料在苗期和成株期抗病鉴定中均表现出白粉病抗性,验证了抗病基因存在的真实性,也表明 *Pm21* 是针对目前流行的白粉病生理小种仍具有极强抗性的一个

基因,亟需扩大其育种利用范围。

本研究利用 *Pm21* 分子标记对 100 份小麦品种、后备品系等开展基因检测,得到 7 份含有 *Pm21* 抗性基因的材料;同时利用小麦白粉病菌 E09 单小种进行苗期抗性鉴定,得到 33 份单小种抗性材料,对其进一步开展成株期田间自然发病鉴定,发现仍然保持抗性的材料有 7 份;结合分子鉴定结果,发现表现出全生育期抗性的材料均为含有 *Pm21* 抗性基因的材料。本研究筛选到的抗性材料,将针对性地利用 *Pm21* 抗性基因、选育抗白粉病小麦新品种奠定基础。

另外,本研究中有的一些不含 *Pm21* 抗性基因的材料在苗期表现出对白粉病菌单小种的抗性,其可能含有其他已知或未知的基因,有待于进一步验证。

### 参考文献:

- [1] 许映祥. 小麦白粉病的发病规律及防治策略研究[J]. 中国农业信息, 2015, 27(17): 56.
- [2] 刘万才, 邵振润. 我国小麦白粉病发生演替的成因及趋势浅析[J]. 植保技术与推广, 1995, 15(6): 7-8.
- [3] Li Y H, Wei Z Z, Sela H N, et al. Long-read genome sequencing accelerated the cloning of *Pm69* by resolving the complexity of a rapidly evolving resistance gene cluster in wheat[J/OL]. bioRxiv, 2022; 1-31 (2022-10-16) [2024-07-01]. <https://doi.org/10.1101/2022.10.14.512294>.
- [4] 徐相波, 刘冬成, 郭小丽, 等. 小麦抗白粉病基因 *Pm21* 分子标记辅助选择的应用[J]. 分子植物育种, 2006, 4(2): 194-198.
- [5] Qi L, Cao M, Chen P, et al. Identification, mapping, and application of polymorphic DNA associated with resistance gene *Pm21* of wheat[J]. Genome, 1996, 39(1): 191-197.
- [6] 盛宝钦. 用反应型记载小麦苗期白粉病[J]. 植物保护, 1988, 14(1): 49.
- [7] 董连生. 2019—2023 年国审小麦品种主要病害的变化趋势分析[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(21): 1-9.