

源于中间偃麦草的小麦新品系 CH5026 白粉病抗性的遗传

刘建霞¹, 贺润丽¹, 畅志坚², 詹海仙^{1,2}, 张晓军², 董春林², 王创云²

(1. 山西大学, 山西 太原 030006; 2. 山西省农业科学院 作物遗传研究所, 山西 太原 030031)

摘要: CH5026 是衍生于八倍体小偃麦 TAI7045 的抗病新品系, 它兼抗小麦的白粉病和条锈病。温室抗性评价结果显示, 无论是苗期还是成株期, CH5026 对白粉病菌系 E09 均表现为免疫, 且具有与其抗性供体 TAI7045 及 TAI7045 的野生亲本中间偃麦草相似的白粉病抗性, 且 CH5026 和 TAI7045 的小麦亲本均为中、高感, 表明存在于 CH5026 的白粉病抗性来自中间偃麦草。为进一步明确其白粉病抗性的遗传规律, 用高感品种(系)晋太 170 和 CH5065 分别与 CH5026 杂交、回交, 将其 F₁, F₂, BC₁, F₃ 群体及其双亲分别在太原温室用白粉病 15 号小种的 E09 菌系接种, 并按单株调查其抗感分离之比。结果表明, F₁ 对白粉病的感染分别为 0 或 0₁ 级。F₂, BC₁ 的群体中, 其抗感分离分别符合 3R: 1S 和 1R: 1S; 而且在 F₃ 株系中, 全抗: 抗感分离: 全感为 1: 2: 1, 说明衍生于 TAI7045 的抗病品系 CH5026 对白粉病的抗性受 1 对显性核基因控制。

关键词: 普通小麦; 中间偃麦草; 八倍体小偃麦; 白粉病; 抗性遗传

中图分类号: S435.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2008)01-0194-05

Genetic Study of Resistance to Powdery Mildew in a *Thinopyrum intermedium*-derived Wheat Breeding Line CH5026

LIU Jian-xia¹, HE Run-li¹, CHANG Zhi-jian², ZHAN Hai-xian^{1,2}, ZHANG Xiao-jun²,
DONG Chun-lin², WANG Chuang-yun²

(1. Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Institute of Crop Genetics, Shanxi Academy of Agriculture Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: CH5026, a wheat breeding line developed by backcrossing a partial wheat *Thinopyrum intermedium* amphiploid TAI7045 with susceptible wheat cultivar, exhibits the resistance to both powdery mildew (PM) and yellow rust. Greenhouse evaluation of resistance reactions at seedling and adult stage showed that CH5026 had PM-resistance similar to its donor TAI7045 and *Th. intermedium*, whereas the wheat parents of both CH5026 and TAI7045 were susceptible, indicating that the PM-resistance gene in CH5026 derived from *Th. intermedium*, the grass parent of TAI7045. To investigate the inheritance mode of its PM-resistance, CH5026 was crossed with the susceptible (S) cv. Jintai 170 and line CH5065. Parents and the resulted F₁ plants, F₂ and BC₁ populations, and F₂-derived F₃(F₂ 3) lines were tested with mixed powdery mildew races, including *Egt* isolate E09, in the greenhouse. The F₂ populations from two crosses segregated in a ratio of 3R: 1S, and the BC₁ population from a backcross of CH5026(R) / Jintai170 (S) // Jintai170(S) in a ratio of 1R: 1S. The F₂ 3 lines from CH5026(R) CH5065 (S) exhibited a segregation pattern of 1 (all R) : 2 segregating : 1 (all S). According to disease ratings of parents, and the F₁, F₂ and BC₁ generations, and the F₃ lines, the PM resistance in CH5026 was conferred by a single dominant gene.

Key words: Wheat; *Thinopyrum intermedium*; Wheat *Thinopyrum* partial amphiploid; Powdery mildew; Resistance inheritance

收稿日期: 2007-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671299); 山西省自然科学基金项目(2006011093)

作者简介: 刘建霞(1977-), 女, 山西山阴人, 在读硕士, 主要从事小麦外源基因导入研究。

通讯作者: 畅志坚(1952-), 男, 山西万荣人, 研究员, 博士生导师, 主要从事小麦抗病性育种研究工作。

小麦白粉病 (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) 是世界各小麦产区的主要病害。自 20 世纪 80 年代后期以来, 白粉病的为害在我国日趋严重。1990 年, 全国冬麦区白粉病的发生面积达 1 133.3 万/hm², 已成为影响小麦丰产的重要因素之一。培育和推广抗病品种是最为经济、安全、有效的防治措施。据报道, 我国 20 世纪 80 年代后育成的品种中, 约 38% 为 1BL/1RS 衍生系, 其抗白粉病基因主要是来自黑麦的 Pm8^[1]。由于抗源单一, 其抗性随白粉病生理小种毒性的变异而基本丧失。因此, 发掘并导入新的抗性基因已迫在眉睫。

中间偃麦草 (*Thinopyrum intermedium*, 2n= 42) 是在小麦遗传改良中利用较为广泛的一种小麦野生近缘植物, 不仅拥有丰富的抗病基因, 且容易与小麦杂交。人们已将其对小麦锈病、黄矮病和根腐病的抗性基因成功地导入小麦, 并育成品种大面积推广^[2-4]。中间偃麦草对小麦白粉病免疫或高抗^[3,5], 我国学者刘树兵等^[6]从普通小麦与中间偃麦草杂交的后代中曾获得抗白粉病小偃麦 E 组染色体附加系。最近, 马强等^[7]从八倍体小偃麦 TAI7047 与小麦品种川麦 107 杂交后代中选育出对白粉病免疫的小麦育种新材料 YU25, 并对其抗性基因进行了染色体定位。

抗原的发掘及利用是选育抗病品种的关键。为拓宽小麦抗病育种的遗传基础, 山西省农科院畅志坚等^[8]从 1986 年起开展了普通小麦与中间偃麦草的属间远缘杂交及利用八倍体小偃麦向普通小麦导入偃麦草抗病基因的研究, 育成八倍体小偃麦新类型 TAI7044, TAI7045, TAI7047^[9,10] 和一批来自不同八倍体类型的小麦抗病亲本及新品系^[11], CH5026 就是采用普通小麦的感病品种(系)与八倍体小偃麦 TAI7045 杂交、回交, 在白粉病、条锈病的高发区四川雅安选育而成的抗病品系。2001–2004 年经太原温室接种和四川雅安病圃鉴定, CH5026 免疫白粉病和条锈病, 株高约 75 cm, 株型紧凑, 旗叶上挺, 半冬性, 无芒, 白粒, 是抗病育种的优良亲本。因此, 研究其白粉病抗性的基因组成及抗性的遗传特点, 对于该抗原的快速应用及小麦抗病育种具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 供试材料

用于抗病性鉴定的材料列于表 1, 包括中间偃麦草、八倍体小偃麦 TAI7045 及其小麦亲本、抗病品系 CH5026 及其小麦亲本。CH5026 是衍生于八倍体小偃麦 TAI7045 的高代品系 (BC₁F₃), 由山西省农科

院作物遗传研究所重点实验室选育, 其系谱来源为 76216 穗 96/TAI7045 // 京 309。CH5026 的遗传特性已经稳定, 它与中国春小麦 F₁ 的染色体配对构型为 2n= 42= 21II。CH5026 对小麦白粉病具有良好而稳定的抗性, 2003–2004 年在四川雅安病圃和太原温室接种(所用菌系为 E09)条件下表现为(近)免疫。TAI7045 来自中间偃麦草与普通小麦的杂交后代, 其系谱为晋春 5 号/中间偃麦草 // 晋 T2250, 由山西省农科院作物遗传研究所畅志坚研究员选育, TAI704 及其亲本均为该所重点实验室提供。用于抗性遗传分析的材料列于表 2, CH5026 为抗病亲本, CH5065、晋太 170 为感病亲本。抗×感的亲本及其 F₁, BC₁, F₂, F₂₋₃ 群体材料均由山西省农科院作物遗传研究所重点实验室提供。

用于白粉病抗性鉴定及遗传分析的菌系(小种)为 E09, 由中国农科院植保所段霞瑜研究员提供。

1.2 方法

1.2.1 抗病性鉴定 于 2003–2004 年分别在四川农业大学雅安病圃和太原温室对 CH5026 的白粉病抗性进行了鉴定。感病对照为 SY95-71 和京双 16。太原温室所用菌系为 E09 的 15 号生理小种, 雅安病圃所用菌种为采集于四川省的优势小种接种。每个材料接种 20~30 株。温室于苗期接种, 病圃在拔节后接种, 待感病对照充分发病时开始调查抗、感植株, 按有无病症分为抗、感, 抽穗期和开花期各复查一次。

1.2.2 抗性遗传分析 抗病性鉴定及抗性遗传分析在温室进行。于温室配置杂交组合, 以 CH7086 为父本或母本分别与感病亲本杂交, 将得到的 F₁, BC₁, F₂, F₃ 群体材料用于抗性基因的遗传分析。中间偃麦草 9 月下旬育苗, 经春化处理移栽于温室。其他供试材料 11 月上旬播种, 行长 1.2 m, 行宽 25 cm。亲本及其 F₁ 各种 1 行、每行 20 粒; F₂ 种 10 行、共点播 200 粒; F₃ 家系, 每系点播 1 行、每行 16 粒。每隔 5 行设置 1 行感病对照, 每 15 行设置 1 行诱发材料。诱发材料为 SY95-71, 感病对照为京双 16。从苗期开始, 感病对照和诱发材料接种毒力型为 E09 的 15 号生理小种。当其大量繁殖后采集菌种抖洒在待鉴定材料叶片上, 同时借助诱发进行诱发感染。苗期抗性评价于三叶期进行, 其反应型按 0~4 级进行记载^[12]。成株抗性评价在抽穗期进行, 开花期复查一次, 按 0~9 级法观察记载病级^[13], 其中 0 级为免疫, 1~3 级为抗病型, 4 级为中抗, 5~6 级为中感, 7~8 级为感病, 9 级为高感。单株调查抗性反应及杂交后代的抗、感分离比例, 再根据 χ^2 测

验判定其观察值与理论值的符合程度。用卡方(Kai)公式进行适合度测定(0.5是修正值)。

$$\chi^2 = \sum \frac{(| \text{实测值} - \text{理论值} | - 0.5)^2}{\text{理论值}}$$

2 结果与分析

2.1 CH5026、八倍体小偃麦 TAI7045 及其亲本的抗白粉性表现

2003– 2004 年在四川农业大学雅安病圃田间白粉病菌接种试验表明,CH5026 在幼苗期和成株期对四川省的流行小种的抗性均表现免疫,而对照 SY95-71 全部感病。随后在太原温室用白粉病菌 15 号小种的 E09 菌系接种,CH5026 同样表现免疫。

表 1 抗病品系 CH5026、八倍体小偃麦 TAI7045 及其亲本的抗性鉴定

Tab. 1 Adult and seedling reactions of CH5026 and TAI7045 and their parents to powdery mildew

测试材料 Materials tested	2n	基因组 Genome	反应型 Infection types		来源 Origin
			成株 Adult	苗期 Seedling	
中间偃麦草 <i>Th. intermedium</i>	42	StJJs	0	I	前苏联
TAI7045	56	ABDSr/ Js	0; 1	HR	山西省农科院作物遗传所
晋春 5 号 ^a Jinchun 5 ^a	42	ABD	3	HS	山西省农科院高寒作物所
晋 T2250 ^a Jin T2250a	42	ABD	4	HS	山西省农科院作物遗传所
CH5026	42	ABD	0;	I	本研究
76216 穗 96 ^b 76216Ear96 ^b	42	ABD	3	MS	中科院前西北植物研究所
京 309 ^b Jing309 ^b	42	ABD	4	HS	北京市农科院作物所

注: a. 八倍体小偃麦 TAI7045 的小麦亲本; b. CH5026 的小麦亲本。
Note: a. Wheat parent of TAI7045; b. Wheat parent of CH5026.

表 2 抗×感杂交组合各世代对白粉病的抗性表现、分离比例及卡方测验

Tab. 2 Segregation ratios for powdery mildew reaction in parents and F1, F2 , BC1 populations

亲本及组合 Parent or cross	观察值 Plants observed			理论比例 Expected ratio	χ ² 值 χ ² value	P 值 Probability
	抗病株 Resistant	感病株 Susceptible	总株数 Total			
CH5026 P ₁	16	0	16	1R: 0S	—	—
CH5065 P ₂	0	15	15	0R: 1S	—	—
CH5026× CH 5065 F ₁	19	0	19	1R: 0S	—	—
CH5026× CH 5065 F ₂	124	37	161	3R: 1S	0. 250 5	0. 50~ 0. 75
CH5026 P ₁	16	0	16	1R: 0S	—	—
JT170 P ₂	0	18	18	0R: 1S	—	—
CH5026× JT170 F ₁	14	0	14	1R: 0S	—	—
JT170 × (CH5026 × JT170) BC ₁	88	73	161	1R: 1S	1. 217 4	0. 25~ 0. 50
JT170 × CH5026 F ₁	17	0	17	1R: 0S	—	—
JT170 × CH5026 F ₂	117	34	151	3R: 1S	0. 373	0. 50~ 0. 75

注: JT170 指晋太 170。 Note: JT170 indicates Jintai 170.

2.2 抗性基因的遗传分析

2006– 2007 年在太原温室对 CH5026 分别与 CH5065、晋太 170 的杂交后代群体用白粉病菌 15 号小种进行了接种鉴定。结果显示,所有杂交组合的 F₁ 植株均抗病,其反应型为 0; 级。来自杂交组合 (CH5026/CH5065) F₂ 的 161 个单株中,124 株抗病、37 株感病,其 χ²= 0. 250 5,表明抗感比例为 3 1 (表

为进一步明确 CH5026 的抗性来源,2006– 2007 年连续 2 年在温室对抗病品系 CH5026、八倍体小偃麦 TAI7045 及其各自的亲本进行了苗期和成株期的接种抗性鉴定,以京双 16 和 SY95-71 为感病对照,所用菌系为 E09。结果表明(表 1),抗性基因供体—中间偃麦草、八倍体小偃麦 TAI7045 和 CH5026 均表现免疫,其反应型分别为 0, 0; + 1, 0; ,而 TAI7045 和 CH5026 的小麦亲本均感白粉病,除 76216 穗 96 为中感外,晋春 5 号、晋 T2250、京 309 均为高感,其反应型为 3~ 4 级。由此可见,衍生于八倍体小偃麦 TAI7045 的抗病品系 CH5026 对白粉病的抗性来自于中间偃麦草。

2)。F₃ 的 127 个株系中,全抗(RR)的 36 个、抗感分离(Rr)的 65 个、全感(rr)的 26 个,其 RR: Rr: rr= 1: 2 1(χ²= 1. 326 7)。而且,在抗感分离的 841 个单株中,抗病的 625 株、感病的 216 株,其 χ²= 0. 174 8,抗感分离亦符合 3 1(表 3); 来自 BC₁(CH5026/晋太 170// 晋太 170)的 161 个单株中,抗病的 88 株、感病的 73 株,其 χ²= 1. 217 4,抗感分离符合 1: 1(表 2)。

而来自反交组合(晋太 170/ CH5026) 的 151 个 F₂ 单株中, 抗病的 117 株、感病的 34 株, 其 $\chi^2=0.373$, 抗感分离符合 3: 1(表 2)。因此, 从上述结果(表 2, 3)

表 3 来自 CH5026 (R) / CH5065 (S) 组合的 F₃ 株系对白粉病的抗性表现、分离比例及卡方测验

Tab. 3 Segregation of F ₃ lines from CH5026 (R) × CH5065 (S) when inoculated with E09 in the greenhouse						
抗性表现 Reaction class	F ₃ 株系		F ₃ 植株		χ ² (3 1)	P 值
	Number of F ₃ lines		Total number of F ₃ plants			
	观察值	理论值	R	S		
	Observed	Expected				
All R	36	31.75	519	0	—	—
抗性分离 Segregating	65	63.5	625	216	0.174 8	
All S	26	31.75	0	321	—	—
合计 Total	127	127				
χ ² (1 2 1)	1.326 7					
P						
CH5026			16	0		
CH5065			0	15		

注: R. 抗病; S. 感病; All R. 纯合抗病; All S. 纯合感病。
Note: R. Resistant; S. Susceptible; All R. Homogeneous resistant; All S. Homogeneous susceptible.

3 讨论

抗原多样化是抗病育种的基础。已有的研究表明, 小麦白粉病的抗性主要由寡基因控制。迄今为止, 国内外已在小麦基因组的 35 个位点鉴定出 53 个抗白粉病主效基因^[14]。在已定名的抗性基因中, 除来自普通小麦的以外, 许多重要的抗白粉病基因(*Pm*) 均来自近缘种属, 如 *Pm2*, *Pm12*, *Pm13*, *Pm19*, *Pm29*, *Pm33*, *Pm34*, *Pm35* 源于山羊草, *Pm7*, *Pm8*, *Pm17*, *Pm20* 源于黑麦, *Pm21* 源于簇毛麦等。基于中间偃麦草对小麦白粉病表现为免疫^[2,4], 本研究通过普通小麦与八倍体小偃麦杂交育成了免疫白粉病的小偃麦衍生品系 CH5026。抗性遗传分析的结果表明其抗性受 1 对显性基因控制(表 2, 3)。而且, 根据抗病性鉴定和系谱分析(表 1), 证明其抗性基因来自中间偃麦草, 并未包括在上述 35 个抗性基因的位点中。故而认为, CH5026 所含的抗白粉病基因可能是新的抗性基因, 但该基因在小麦染色体上的确切位置及其定名有待进一步研究。

中间偃麦草是一个异源六倍体, 其基因组的染色体构成为 StStE^sE^sEE^[15]。来自中间偃麦草的八倍体小偃麦中, 小偃 78829 是目前唯一的含中间偃麦草完整的 St 组染色体的八倍体类型^[16], 但它对小麦白粉病高度感染, 这说明中间偃麦草的 St 组染色体上不可能载有抗白粉病基因。刘树兵等^[6]从普通小麦与中间偃麦草杂交后代中获得了对抗白粉病免疫的异附加系, 并结合 GISH 分析发现中间偃麦草的 1 对 E 组染色体携有一个新的抗白粉病基因。最近, 马强等^[7]利用畅志坚选育的八倍体新类型

可以看出, 衍生于八倍体小偃麦 TAI7045 的抗病品系 CH5026 对小麦白粉病的抗性是由 1 对显性核基因所控制, 且抗性遗传不受父母本细胞质的影响。

TAI7047 育成一个对白粉病免疫的新材料 YU25, 并通过分子标记将其来自中间偃麦草的抗性基因 *PmE* (免疫) 和 *PmYU25* (高抗) 分别定位在小麦的 7BS 和 2DL 上。据畅志坚对 TAI7047 基因组的 GISH 分析, 所含的 8 对中间偃麦草染色体中, 包括 1 对 St 组染色体、1 对为 St 组与 E 组的中间易位染色体 (Intercalary translocation) 和 6 对 E 组染色体, 其中未发现有 E^s 组染色体存在^[10]。由此看出, YU25 所含的抗白粉病基因 *PmE*, *PmYU25* 可能来自中间偃麦草的 E 组染色体。而本研究采用“六·八”杂交向普通小麦转移中间偃麦草抗白粉病基因的过程中, 所用的抗病亲本 TAI7045 是畅志坚选育的另一个八倍体新类型, 其外源基因组的染色体构成包括 4 对 St 组染色体、2 对 E^s 染色体和 1 对 St/E^s 中间易位染色体, 并不含有中间偃麦草的 E 组染色体^[10]。据此推断, 本研究的小偃麦衍生品系 CH5026 中所含的抗白粉病基因可能来自中间偃麦草的 E^s 组染色体, 其来源不同于刘树兵等发现的位于中间偃麦草 E 组染色体上的抗性基因和马强等所定位的抗性基因。因此, 无论从杂交系谱还是八倍体中外源染色体的构成, 均可认为该抗性基因可能是一个新的抗白粉病基因。

目前, 已发现的 50 多个小麦抗白粉基因中, 虽然不乏抗性优异的基因, 但能够广泛用于生产的并不多见。究其原因, 一是随流行菌种的变化而成为低效或无效抗病基因; 二是对我国病菌小种不具备抗性; 三是抗性基因的载体品种其农艺性差而不宜直接作为育种亲本; 四是白粉病菌对它的毒性呈较快的上升趋势, 其抗性正在逐步丧失; 五是半成品,

如抗病异附加系和代换系,需改造后才能用于育种。多年研究实践表明,偃麦草不仅是小麦远缘杂交育种的优良亲本,而且与其他近缘属的物种相比,更容易与小麦进行基因交流。这一优势使得人们采用传统的杂交方法即可对小麦进行遗传改良,以小偃 6 号、高优 503 为代表的许多优良品种就是明证^[3]。本研究通过小麦与八倍体小偃麦杂交、回交育成的小偃麦抗病衍生系 CH5026 既无明显的不良性状,且兼抗条锈病,还具有半矮秆、分蘖力强、后期熟相好等优良性状。同时,遗传分析的结果表明对白粉病的抗性是由一对显性基因控制的。因此,该品系不仅是小麦育种的理想抗源,而且为寻找抗白粉病的分子标记及其抗性基因的分子作图提供了难得的实验材料。

致谢:本研究的抗性鉴定得到山西省农科院植保所原宗英副研究员的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 周 阳,何中虎,张改生,等. 1BL/1RS 易位系在我国小麦育种中的应用[J]. 作物学报, 2004, 30(6): 531–535.
- [2] 李振声. 属间远缘杂交[M] // 中国小麦研究. 北京: 中国农业出版社, 1995: 405–416.
- [3] 钟冠昌, 穆素梅, 张正斌. 麦类远缘杂交[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 70–95.
- [4] Fedak G, Han F. Characterization of derivatives from wheat-*Thinopyrum* wide crosses[J]. Cytogenet Genome Res, 2005, 09: 360–367.
- [5] Franke R, Nestrowicz R, Senula A. Intergeneric hybrids between *Triticum aestivum* L. and wild *Triticeae* [J]. Hereditas, 1992, 116: 225–231.
- [6] 刘树兵, 王洪刚. 抗白粉病小麦—中间偃麦草异附加系的选育及分子细胞遗传鉴定[J]. 科学通报, 2002, 47(19): 1500–1503.
- [7] 马 强, 罗培高, 任正隆, 等. 两个抗小麦白粉病新基因的遗传分析与染色体定位[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 1–8.
- [8] 畅志坚, 赵怀生, 李生海. 小麦与天蓝偃麦草远缘杂交中结实性的研究[J]. 山西农业科学, 1992, 20(2): 7–10.
- [9] 畅志坚, 胡河生, 王志国. 矮化型八倍体小偃麦的选育[J]. 中国生态农业学报, 1996(2): 75–79.
- [10] 畅志坚. 几个小麦—偃麦草新种质的创制分子细胞遗传学分析[D]. 成都: 四川农业大学, 1999.
- [11] 王建荣, 畅志坚, 郭秀荣, 等. 在小麦育种中利用偃麦草抗病特性的研究[J]. 山西农业科学, 2004, 32(3): 3–7.
- [12] 盛宝钦. 用反应型记载小麦白粉病[J]. 植物保护, 1988, 14(1): 49.
- [13] 盛宝钦. 用反应型记载小麦白粉病“0~9 级法”的改进[J]. 北京农业科学, 1991, 9(1): 8–39.
- [14] McIntosh R A, Devos K M, Dubcovsky J, *et al.* Catalogue of gene symbols for wheat[M/OL]. 2006 supplement, <http://www.shigen.lab.nig.ac.jp/wheat/komugi/top/top.jsp>. 2006.
- [15] Chen Q, Conner R L, Laroche A, *et al.* Genome analysis of *Thinopyrum intermedium* and *Th. ponticum* using genomic in situ hybridization[J]. Genome, 1998, 41: 580–586.
- [16] Zhang X Y, Koul A, Wang R C. *et al.* Molecular verification and characterization of BYDV-resistant germplasms derived from hybrids of wheat with *Thinopyrum ponticum* and *Th. intermedium* [J]. Theor Appl Genet, 1996, 93: 1033–1039.