

223 份小麦农家品种田间抗条锈病性评价 及抗病基因分子检测

黄苗苗¹ 孙振宇² 曹世勤^{1,2} 贾秋珍² 刘太国³ 陈万权^{1,3*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 兰州 730070;

3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:为发掘更多的小麦条锈病抗性种质资源,了解小麦抗条锈病性基因在甘肃省小麦农家品种中的分布状况,选用甘肃省223份小麦农家品种,采用人工接种与自然诱发相结合的方法于2015—2017年进行了连续2个小麦生长季的成株期抗条锈病性鉴定与评价,并利用已知的6个Yr基因分子标记对其进行抗条锈病性基因类型检测。结果显示,在供试的223份小麦农家品种中,成株期表现抗病的有50份,占总数的22.42%,其中表现免疫、高抗和中抗的分别有42、3和5份,分别占总数的18.83%、1.35%和2.24%;有99份品种具有慢条锈病特性,占总数的44.39%。Yr基因分子标记检测结果表明,可能携带Yr26、Yr9、Yr5、Yr10、Yr15和Yr18的小麦农家品种分别有112、8、92、12、77和22份,分别占供试材料的50.22%、3.59%、41.26%、5.38%、34.53%和9.87%;有41份品种未检测到供测的6个抗条锈病性基因。

关键词:小麦农家品种;条锈病;抗性评价;Yr基因;分子检测

Evaluation of the resistance of 223 wheat landraces in Gansu Province to stripe rust and molecular detection

Huang Miaomiao¹ Sun Zhenyu² Cao Shiqin^{1,2} Jia Qiuzhen² Liu Taiguo³ Chen Wanquan^{1,3*}

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu Province, China; 2. Institute of

Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu Province, China; 3. Institute

of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: Wheat stripe rust (yellow rust), caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*), is one of the most destructive diseases of wheat in China. In order to further explore more wheat stripe rust-resistant germplasm resources, understand the distribution of wheat stripe rust-resistant genes in Gansu wheat landraces, and provide the basis for safe production of wheat and rational distribution of wheat varieties, 223 wheat landraces in Gansu Province were identified for their resistance against stripe rust in adult stage by artificial inoculation of the mixed popular races of *Pst* and natural infection in Gansu Experimental Station, Gansu Academy of Agricultural Sciences during 2015—2017. DNA markers linked to stripe rust-resistant genes *Yr5*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr18* and *Yr26* were employed to detect the genes. The results showed that 50 wheat landraces displayed resistance to stripe rust in adult stage, including 42 immune, three highly resistant and five moderately resistant ones, accounting for about 18.83%, 1.35% and 2.24%, respectively. There were 99 wheat landraces with slow-rusting characters in

基金项目: 国家自然科学基金(31560504), 植物病虫害生物学国家重点实验室开放课题(SKLOF201717), 甘肃省农业科学院科技创新专项(2017GAAS45)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: wqchen@ippcaas.cn

收稿日期: 2017-08-28

the field. The detection of *Yr* gene by the specific molecular markers showed that 112 wheat landraces probably carried *Yr26*, 8 with *Yr9*, 92 with *Yr5*, 12 with *Yr10*, 77 with *Yr15*, and 22 with *Yr18*. No *Yr* genes were detected in 41 wheat landraces. The reliability of field identification of wheat stripe rust resistance and molecular detection of *Yr* genes, and utilization of resistant landraces in wheat resistance breeding were also discussed.

Key words: wheat landrace; stripe rust; resistance evaluation; *Yr* gene; molecular detection

小麦条锈病是由条形柄锈菌小麦专化型 *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* 引起的气传性叶部病害,严重影响我国小麦生产,尤其在西北、西南麦区发生较重。一般流行年份可使小麦减产20%~30%,特大流行年份减产可达50%以上,甚至绝收(李振岐和曾士迈,2002)。由于条锈菌生理小种的高度变异性,抗病品种在甘肃省陇南麦区(包括陇南市和天水市)一般种植3~5年便会“丧失”其抗病性。选育并推广抗病品种是有效防止小麦条锈病危害、保持稳产增收的最经济有效的手段。目前,已知对条锈菌生理小种仍保持较高抗性的基因有 *Yr5*、*Yr15* 等及一些未知基因,其中抗条锈病性基因 *Yr5* 具有苗期抗病特点,*Yr10* 及 *Yr26*(=*Yr24*) 在2010年以前表现抗病,但自2009年以来,由于条锈菌新生理小种CYR34的出现而“丧失”抗病性(Liu et al., 2010; 贾秋珍等, 2011; 刘太国等, 2012)。目前甘肃省特别是陇南地区种植的小麦品种大都不抗小麦条锈病(曹世勤等, 2017),寻找对当前流行生理小种和潜在流行生理小种具有良好抗性的新抗源,是中国当前小麦抗病育种工作中一项急待解决的问题。明确小麦品种所含抗病基因及抗性特点,能为有针对性地进行抗病品种及抗病品种合理布局提供基础依据。

小麦地方品种又称农家品种,是经过漫长的自然选择和人为干预后保存下来的作物遗传资源,具备了对当地自然生态条件较强的适应性和与之相对应的生产潜力(Payne et al., 1987),其中还可能潜藏某些特殊的、育成品种所缺乏的、具有重要经济价值的优良基因(沈裕琥等, 2002)。目前,小麦条锈病抗病育种面临着条锈菌变异速度快、强毒性生理小种流行范围不断扩大、可利用抗性基因有限的问题,而从农家小麦品种中挖掘抗条锈病优良基因资源,拓展抗病基因亲本的遗传基础,是改良小麦条锈病抗性的有效途径。路端谊等(1980)采取分圃、分小种方法先后对2800多份小麦农家品种、育成品种和国外种质资源进行成株期抗条锈病性鉴定,筛选出一些抗源材料;韩德俊等(2012)通过成株期抗病性鉴定筛选、苗期抗谱分析和已知抗条锈病性基因分子

标记检测,从1980份尚未大量应用于中国小麦生产的地方品种和国外种质中筛选出了50份抗病性稳定的抗源材料。

甘肃省的小麦农家品种资源丰富,可能含有大量的抗性基因,明确该省小麦农家品种抗条锈病性状况及其遗传基础,对于指导该麦区小麦抗条锈育种及弥补当前抗源材料严重匮乏局面具有重要作用。本研究在2015—2017年连续2个小麦生长季对223份甘肃省小麦农家品种进行田间抗条锈病性评价和苗期抗条锈病性基因 *Yr5*、*Yr9*(*IBL/IRS*)、*Yr10*、*Yr15*、*Yr18* 和 *Yr26* 分子标记检测,明确供试农家品种抗条锈病性及其所含抗条锈病性基因类型,综合评价各抗源的开发利用价值,以期有针对性地进行抗病育种和抗病品种合理布局提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦及条锈菌:223份小麦农家品种由甘肃省农业科学院作物科学研究所祁旭升研究员提供,小麦条锈病田间诱发品种铭贤169和已知抗条锈病性基因小麦近等基因系 Avocet S/*Yr5* NIL、Avocet S/*Yr9* NIL、Avocet S/*Yr10* NIL、Avocet S/*Yr15* NIL、Avocet S/*Yr18* NIL、Avocet S/*Yr26* NIL、Avocet S 以及条锈菌生理小种 CYR32、CYR33、CYR34(G22-9)、G22-14、中4-1、Hy4、Su11-7均由甘肃省农业科学院植物保护研究所提供。

试剂及仪器:提取基因组DNA试剂盒,天根生化科技(北京)有限公司;2×*Taq* PCR Master Mix 试剂、DL2000、Marker, 中科瑞泰(北京)生物科技有限公司。MG96C型基因扩增仪,杭州朗基科学仪器有限公司;DYY-7C型电泳仪、DYCZ-300电泳装置,北京六一生物科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 小麦农家品种成株期抗病性评价

于2015—2017年连续2个小麦生长季在甘肃省甘谷试验站进行小麦农家品种的田间成株期抗条锈病性评价。对供试的223份农家小麦品种按照从1~

223 的编号顺序进行行播,每个品种种植 1 行,行长 100 cm,行距 20 cm,每隔 20 份材料种植 1 行感病对照品种铭贤 169,在试验地四周分别种植 2 行铭贤 169 作为诱发行。2016 年和 2017 年 3 月下旬,分别在诱发穴人工接种条锈菌混合小种,混合比例按照 CYR32 : CYR33 : CYR34 : 中 4-1 : G22-14 : Hy4 : Su11-7=1:1:1:1:1:1:1;5 月下旬待对照品种铭贤 169 充分发病后分别调查记录各供试品种的反应型、严重度和普遍率。记录标准参照 NY/T 1443.1—2007《小麦抗病虫害性评价技术规范 第 1 部分:小麦抗条锈病评价技术规范》进行。其中反应型根据小麦过敏性坏死及孢子堆产生情况分为 6 级标准:0 级(免疫)、0₁级(近免疫)、1 级(高抗)、2 级(中抗)、3 级(中感)、4 级(高感);严重度指病叶上夏孢子堆所占据的面积占叶片总面积的百分率,按 9 级标准划分:0、1、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100%,叶片未发病,记为 0,虽然已发病,但严重度低于 1%,记为 *t*(微量);普遍率指发病叶片数占调查叶片总数的百分率,用来表示发病程度,按 13 级标准划分:0、1(1%以下)、5%、10%、20%、30%、40%、50%、

60%、70%、80%、90%、100%。依据严重度和普遍率分别计算各供试品种的病情指数。病情指数=普遍率×平均严重度,其中品种慢锈病特性的判别标准为反应型 3 型、中度感病、病情指数≤25.00。

1.2.2 小麦基因组 DNA 的提取与分子检测

2017 年 3 月,将供试 223 份品种的种子及阴性对照品种 Avocet S 和 6 份阳性对照品种 Avocet S/*Yr5* NIL、Avocet S/*Yr9* NIL、Avocet S/*Yr10* NIL、Avocet S/*Yr15* NIL、Avocet S/*Yr18* NIL、Avocet S/*Yr26* NIL 在温室内播种,待长至 2 叶时剪取幼叶,用改良 CTAB 法分别提取所有供试品种的基因组 DNA (Hill-Ambroz et al., 2002)。选用国内外现已开发的抗条锈病性基因 *Yr5*、*Yr9* (*IBL/IRS*)、*Yr10*、*Yr15*、*Yr18* 和 *Yr26* 的 SSR、SCAR、STS 或 CAPS 标记,采用相关文献方法进行分子检测(表 1)。用于检测 *Yr* 基因分子标记的引物均由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。分别按照相关文献的方法对各 *Yr* 基因进行标记及 PCP 扩增,扩增产物经 8% 的非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳、硝酸银染色后置于胶片观察灯上照相检测。

表 1 用于检测小麦抗条锈病性基因的分子标记及其引物序列

Table 1 Molecular markers and primer sequences for the detection of stripe rust-resistant genes

分子标记 Molecular marker	Yr 基因 Yr gene	引物 Primer	引物序列 (5'→3') Primer sequence (5'→3')	距离 Distance (cM)	参考文献 Reference
SCAR	<i>Yr9</i> (<i>IBL/IRS</i>)	AF1/AF4	F:GGAGACATCATGAAACATTTG R:CTGTTGTTGGGCAGAAAG	—	Francis et al., 1995
CAPS	<i>Yr5</i>	S1320	F:CAATAGTTAGGCAAATTACATCG R:TGCAAAGTACCTCATTGAGAA	0.30	Chen et al., 2003
SCAR	<i>Yr10</i>	SC200	F:CTGCAGAGTGACATCATACA R:TCGAACTAGTAGATGCTGGC	0.50	邵映田等, 2001 Shao et al., 2001
SSR	<i>Yr15</i>	Xgwm273	F:ATTGGACGGACAGATGCTTT R:AGCAGTGAGGAAGGGGATC	4.30	Peng et al., 2000
STS	<i>Yr18</i>	cs LV34	F:GTTGGTTAAGACTGGTGATGG R:TGCTTGCTATTGCTGAATAGT	2.50	Lagudah et al., 2006
SSR	<i>Yr26</i>	Gwm11	F:CGCTGGAGGGGGTAAGTCATCAC R:CGCAAATCAAGAACACGGGAGAAAGAA	1.90	Wang et al., 2008

2 结果与分析

2.1 小麦农家品种成株期抗条锈性评价

供试的 223 份农家小麦品种中,白春麦(0003, 省库编号,下同)、红齐麦(0004)及短红芒麦等 50 份品种连续 2 个生长季均表现成株期抗病,占供试品种总数的 22.42%,表明这些品种的田间抗病性比较

稳定。其中表现免疫或近免疫的品种有红齐麦(0004)、白春麦(0003)、短红芒麦、短腰麦和老红麦(0019)等 42 份,表现高抗的有白麦、冰糖麦和白芒麦(0406)3 份,表现中抗的有白兰麦、硬粒小麦、大白麦(0755)、老红麦和白短麦 5 份,分别占供试品种总数的 18.83%、1.35%和 2.24%;其余 173 份品种 2 年

间均表现感病,其中,洋青稞、小辈力麦、绿见口、白玉麦(0026)、白芒子、白芒麦、佛手麦等99份材料反应型为3型(中感),病情指数 ≤ 25.00 ,初步判定具有慢条锈特性,占供试品种总数的44.39%(表2)。

表2 甘肃省223份小麦农家品种成株期抗条锈病性鉴定及分子检测结果

Table 2 Evaluation of stripe rust resistance at adult plant stage and detection of *Yr* genes in the seedling stage in 223 wheat landraces in Gansu Province

品种 Cultivar	省库编号 Provincial treasury no.	2016		2017		<i>Yr5</i>	<i>Yr9</i>	<i>Yr10</i>	<i>Yr15</i>	<i>Yr18</i>	<i>Yr26</i>
		IT/S/P	DI	IT/S/P	DI						
老芒麦 Laomangmai	0002	0/0/0	0.00	3/20/70	14.00	-	-	-	-	-	+
白春麦 Baichunmai	0003	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
红齐麦 Hongqimai	0004	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	+
白麦 Baimai	0005	1/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	+	+	+
短红芒麦 Duanhongmangmai	0006	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
六十黄 Liushihuang	0007	4/40/20	8.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	+	+
洋青稞 Yangqingke	0008	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	+
大辈力秃芒麦 Dabeilitumangmai	0009	4/40/40	16.00	3/10/80	8.00	-	-	-	-	+	+
小辈力麦 Xiaobeilimai	0010	3/5/5	0.25	3/10/80	8.00	-	-	-	+	+	-
绿见口 Lujiankou	0011	3/5/5	0.25	3/20/40	8.00	-	+	-	-	-	-
九头牛 Jiutouniu	0012	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
洋春麦 Yangchunmai	0013	4/40/50	20.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
白矮春麦 Baicuochunmai	0015	0/0/0	0.00	3/20/100	20.00	-	-	-	-	-	+
冰糖麦 Bingtangmai	0016	1/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
短腰麦 Duanyaomai	0018	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	+
老红麦 Laohongmai	0019	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	+
老芒麦 Laomangmai	0020	4/40/100	16.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	+	+
兰麦 Lanmai	0021	4/40/100	16.00	3/10/50	5.00	-	-	-	+	-	+
红麦 Hongmai	0022	0/0/0	0.00	3/20/100	20.0	+	-	-	-	-	+
红芒麦 Hongmangmai	0023	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
二芒麦 Ermangmai	0024	0/0/0	0.00	3/10/50	5.00	-	-	+	+	+	-
白兰麦 Bailanmai	0025	2/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
白玉麦 Baiyumai	0026	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
定西红麦 Dingxihongmai	0027	4/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
定西兰麦 Dingxilanmai	0028	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	+	+
白芒子 Baimangzi	0029	3/5/5	0.25	3/10/20	2.00	-	-	-	-	-	-
白芒麦 Baimangmai	0030	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
小红芒麦 Xiaohongmangmai	0032	4/60/100	60.00	3/10/50	5.00	-	-	-	-	-	-
青兰麦 Qinglanmai	0033	4/20/100	20.00	3/10/10	1.00	-	-	-	-	-	+
和尚头 Heshangtou	0034	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
齐头麦 Qitoumai	0035	3/80/100	80.0	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
硬粒小麦 Yinglixiaomai	0036	2/20/5	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
佛手麦 Foshoumai	0037	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
白见口 Baijiankou	0038	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
高芒麦 Gaomangmai	0039	3/40/80	32.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
白芒麦 Baimangmai	0040	3/5/10	0.50	3/10/90	9.00	-	-	-	-	-	+
红大芒 Hongdamang	0041	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
大麦 Damai	0042	3/5/10	0.50	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
青光头 Qingguangtou	0043	N	N	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
黑芒白麦 Heimangbaimai	0044	0/0/0	0.00	3/10/10	1.00	+	-	-	-	-	-
和尚头 Heshangtou	0045	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
方齐头 Fangqitou	0046	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	+	-	-	-	+
秃芒齐头麦 Tumangqitoumai	0047	4/20/90	18.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
绿秃头 Lututou	0048	4/5/40	2.00	3/10/40	4.00	-	-	-	-	-	-
火麦 Huomai	0049	4/20/100	20.00	3/10/80	8.00	-	-	-	-	-	-

续表 2 Continued

品种 Cultivar	省库编号 Provincial treasury no.	2016		2017		Yr5	Yr9	Yr10	Yr15	Yr18	Yr26
		IT/S/P	DI	IT/S/P	DI						
金黄麦 Jinhuangmai	0052	3/5/5	0.25	3/10/20	2.00	-	-	-	-	-	+
一枝麦 Yizhimai	0058	3/20/5	1.00	3/10/30	3.00	+	-	-	-	-	-
秃头兰麦 Tutoulanmai	0061	3/5/5	0.25	3/10/40	4.00	+	-	-	-	-	+
朶麦 Gamai	0067	3/5/5	0.25	3/5/10	0.50	-	-	-	+	-	-
大红麦 Dahongmai	0074	3/20/5	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
小白麦 Xiaobaimai	0075	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
秃光头 Tuguangtou	0078	2/40/100	40.00	3/10/20	2.00	+	-	-	-	-	-
小麦 Xiaomai	0079	3/5/10	0.50	3/10/10	1.00	+	-	-	-	-	+
大红芒 Dahongmang	0080	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
铁堡麦 Tiebaomai	0081	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
小齐头麦 Xiaoqitoumai	0103	3/60/100	60.00	4/20/100	20.00	-	-	-	-	-	-
小齐头麦 Xiaoqitoumai	0104	3/40/50	20.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
齐头麦 Qitoumai	0106	3/20/40	8.00	3/20/70	14.00	-	-	-	-	-	-
白见口 Baijiankou	0107	3/10/10	1.00	3/20/40	8.00	+	-	-	-	-	+
白木铤板 Baimuxianban	0109	3/40/50	20.00	3/20/100	20.00	+	-	-	-	-	-
白利芒 Bailimang	0110	3/40/100	40.00	3/20/100	20.00	+	-	-	-	-	-
红疙瘩 Honggeda	0111	4/40/100	40.00	3/20/100	20.00	-	-	-	-	-	-
红婁麦 Hongcuomai	0112	3/60/100	60.00	4/40/80	32.00	-	-	-	-	-	-
红穗子 Hongsuizi	0113	3/80/100	80.00	4/40/80	32.00	+	-	-	-	-	-
紫杆子 Ziganzi	0114	4/100/100	100.00	4/40/80	32.00	+	-	-	-	-	-
糜麦 Meimai	0115	4/80/100	80.00	3/10/30	3.00	+	-	-	-	-	+
毛穗子 Maosuizi	0116	4/80/100	80.00	3/10/30	3.00	+	-	-	-	-	-
齐头麦 Qitoumai	0117	3/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
和尚头 Heshangtou	0118	3/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
红短芒 Hongduanmang	0119	3/80/100	80.00	3/20/100	20.00	-	-	-	-	-	-
白大头 Baidatou	0120	4/100/100	100.00	3/20/70	14.00	+	-	-	-	-	-
老红麦 Laohongmai	0457	3/80/100	80.00	3/10/50	5.00	-	-	-	-	-	+
正宁三月黄 Zhengningsanyuehuang	0282	3/60/100	60.00	3/10/50	5.00	+	-	-	-	-	-
正宁官河饿死牛	0283	3/100/100	100.00	3/10/20	2.00	-	-	-	-	-	+
Zhengninggonghe'esiniu											
合水瞎八斗 Heshuixiabadou	0285	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
庆阳白箭头 Qingyangbaijiantou	0296	4/60/100	60.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
老白麦 Laobaimai	0298	4/80/100	80.00	3/10/80	8.00	+	-	-	+	-	+
白秃头 Baitutou	0306	4/40/100	40.00	3/20/90	18.00	-	-	-	-	-	-
正宁红齐麦 Zhengninghongqimai	0318	3/80/100	80.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
镇原红曹麦 Zhenyuanhongcaomai	0328	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
有芒河南红 Youmanghenan hong	0339	4/100/100	100.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
红半芒 Hongbanmang	0347	3/5/20	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
红芒麦 Hongmangmai	0348	4/40/100	40.00	3/40/100	40.00	+	-	-	+	-	-
红秃子 Hongtuzi	0350	3/5/10	0.50	3/40/100	40.00	-	-	-	+	-	-
凤翔麦 Fengxiangmai	0381	4/20/100	20.00	3/10/30	3.00	+	-	-	-	-	+
红齐麦 Hongqimai	0387	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
一芒麦 Yimangmai	0393	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
白齐麦 Baiqimai	0396	3/10/10	1.00	3/10/20	2.00	+	-	-	+	-	+
白芒麦 Baimangmai	0398	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
火麦子 Huomaizi	0404	3/5/5	0.25	3/20/100	20.00	+	-	-	+	-	-
白芒麦 Baimangmai	0406	1/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
镇原白蚂蚱 Zhenyuanbaimazha	0423	4/60/100	60.00	3/10/40	4.00	-	-	-	-	-	-
红疙瘩 Honggeda	0428	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
白疙瘩 Baigeda	0454	0/0/0	0.00	3/10/20	2.00	+	-	-	+	-	-

续表 2 Continued

品种 Cultivar	省库编号 Provincial treasury no.	2016		2017		Yr5	Yr9	Yr10	Yr15	Yr18	Yr26
		IT/S/P	DI	IT/S/P	DI						
红齐麦 Hongqimai	0474	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
白芒麦 Baimangmai	0475	4/10/50	5.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
红秃子 Hongtuzi	0496	4/20/100	20.00	3/10/50	5.00	+	-	-	+	-	+
白齐麦 Baiqimai	0512	4/10/20	2.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
小麦 Xiaomai	0532	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
火麦儿 Huomai 'er	0545	4/40/100	40.00	3/10/40	4.00	-	-	-	+	-	+
火麦 Huomai	0546	3/20/10	2.00	3/10/30	3.00	-	-	+	+	-	-
华池白蚂蚱 Huachibaimazha	0547	3/40/100	40.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
有芒红梢头 Youmanghongshaotou	0549	0/0/0	0.00	3/5/40	2.00	-	-	-	+	-	+
白火麦 Baihuomai	0621	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
红梢头 Hongshaotou	0549	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
宁县和盛兰花麦 Ningxianheshenglanhuamai	0623	3/60/100	60.00	3/10/100	10.00	-	-	-	+	-	-
白金麦 Baijinmai	0624	3/40/100	40.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
庆阳高楼白芒麦 Qingyanggaoloubaimangmai	0625	3/80/100	80.00	3/10/30	3.00	-	-	-	+	-	+
环县小青芒 Huanxianxiaoqingmai	0626	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
庆阳露里淌 Qingyanglulitang	0639	3/40/100	40.00	3/10/50	5.00	+	-	-	+	-	+
庆阳陕西白麦 Qingyangshaanxibaimai	0789	3/60/100	60.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
庆阳白鱼儿麦 Qingyangbaiyu 'ermai	0831	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
宁县石鼓石大头 Ningxianshigushidatou	0833	4/100/100	100.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
正宁瓦沟圈红二笨 Zhengningwagouquanhonggerben	0834	3/60/100	60.00	3/10/50	5.00	-	-	-	+	-	+
红秃头 Hongtutou	0835	3/5/5	0.25	3/10/100	10.00	-	-	+	+	-	+
茭茭台 Jijitai	0836	4/80/100	80.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
白老来变 Bailaolaibian	0121	3/100/100	100.00	4/20/100	20.00	-	-	-	-	-	-
红光头 Hongguangtou	0122	3/100/100	100.00	4/20/100	20.00	-	+	-	-	-	-
白光头 Baiguangtou	0123	3/100/100	100.00	4/20/100	20.00	+	-	-	+	-	-
白疙瘩 Baigeda	0125	3/100/100	100.0	4/20/100	20.00	-	-	-	-	-	-
红光头 Hongguangtou	0126	3/100/100	100.0	4/40/100	40.00	-	-	-	+	-	-
红木铤板 Hongmuxianban	0127	4/100/100	100.00	4/60/100	60.00	-	-	-	-	-	-
白大毛 Baidamao	0130	4/100/100	100.00	3/20/80	16.00	-	-	-	+	-	+
老红麦 Laohongmai	0133	4/40/100	40.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
有芒白大麦 Youmangbaidamai	0503	3/60/100	60.00	3/10/30	3.00	-	-	+	-	-	-
红莠麦 Hongjianmai	0150	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	+	+	-	+
有芒红蚂蚱 Youmanghongmazha	0487	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
关东麦 Guandongmai	0490	3/20/100	20.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
短芒红梢麦 Duanmanghongshaomai	0520	3/5/5	0.25	3/10/10	1.00	-	-	-	+	-	-
老芒麦 Laomangmai	0523	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
红秃麦 Hongtumai	0532	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
红芒红梢麦 Hongmanghongshaomai	0536	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	+	+	-	-
兰麦 Lanmai	0548	3/5/10	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
五爪龙 Wuzhualong	0566	3/10/80	8.00	3/10/30	3.00	+	-	-	-	-	-
有芒冰麦 Youmangbingmai	0576	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
有芒白麦 Youmangbaimai	0588	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-

续表 2 Continued

品种 Cultivar	省库编号 Provincial treasury no.	2016		2017		Yr5	Yr9	Yr10	Yr15	Yr18	Yr26
		IT/S/P	DI	IT/S/P	DI						
红麦 Hongmai	0606	3/20/100	20.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
红青芒 Hongqingmang	0608	3/20/100	20.00	3/10/40	4.00	-	-	-	-	-	+
红麦 Hongmai	0637	3/10/20	2.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
青芒麦 Qingmangmai	0640	0/0/0	0.00	3/10/10	1.00	-	-	-	-	-	-
中孚红芒麦 Zhongfuhongmangmai	0635	0/0/0	0.00	3/10/10	1.00	+	-	-	-	-	+
红扎芒 Hongzhama	0642	3/100/100	100.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
红羊尾 Hongyangwei	0650	3/20/60	12.00	3/10/20	2.00	+	-	-	+	-	+
小红麦 Xiaohongmai	0687	3/10/10	1.00	3/20/100	20.00	-	-	-	+	-	+
744	0701	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
大红芒 Dahongmang	0705	3/5/5	0.25	3/10/100	10.00	-	-	-	+	-	-
大见口 Dajiankou	0732	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
三下齐 Sanxiaqi	0738	3/5/5	0.25	3/10/30	3.00	-	-	-	-	-	+
大红水禾 Dahongshuihe	0741	3/20/10	2.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
大红火禾 Dahonghuohe	0744	3/20/10	2.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
大白麦 Dabaimai	0747	0/0/0	0.00	3/10/30	3.00	-	-	-	-	-	-
大白见口 Dabaijiankou	0749	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
长粒大犍麦 Changlidabeimai	0751	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
小犍芥口 Xiaobeijiekou	0752	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
小红火穗 Xiaohonghuosui	0754	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
大白麦 Dabaimai	0755	2/10/10	1.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
小白麦 Xiaobaimai	0760	1/5/5	0.25	3/10/50	5.00	-	-	-	+	-	+
齐头白麦 Qitoubaimai	0771	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	+	+	-	+
小红麦 Xiaohongmai	0772	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
小红芒 Xiaohongmang	0774	0/0/0	0.00	3/20/100	20.0	+	-	-	-	-	-
青芒 Qingmang	0775	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
长矮麦 Chang'aimai	0776	3/10/60	6.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
朱哥一号 Zhugeyihao	0777	3/20/100	20.00	3/10/50	5.00	-	-	-	+	-	-
六月黄 Liuyuehunag	0779	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
大白芒 Dabaimang	0780	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	+
和尚头 Heshangtou	0781	3/10/5	0.50	3/10/50	5.00	-	-	-	-	-	-
老红芒 Laohongmang	0786	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
长芒 Changmang	0784	0/0/0	0.00	3/10/20	2.00	+	-	-	-	-	-
小青芒 Xiaoqingmang	0788	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	+	-	-
大白芒 Dabaimang	0785	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
红芒子 Hongmangzi	0787	3/20/10	2.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
源边老芒麦 Yuanbianlaomangmai	0791	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
白茎红芒 Baijinghongmang	0792	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
春老芒麦 Chunlaomangmai	0796	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
老红麦 Laohongmai	0802	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
豌豆麦 Wandoumai	0803	0/0/0	0.00	3/10/20	2.00	-	-	-	-	-	-
白春麦 Baichunmai	0807	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
白穗老芒麦 Baisuilao mangmai	0810	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
红桃红 Hongtaohong	0811	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
红穗老芒麦 Hongsuilaomangmai	0812	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
小齐头 Xiaoqitou	0813	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
杂麦子 Gamaizi	0814	3/5/20	1.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
大白麦 Dabaimai	0815	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
红矮麦 Hongaimai	0820	3/20/50	10.00	0/0/0	0.00	+	-	+	+	-	-
红早麦 Hongzaomai	0821	3/5/40	2.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
黑麦 Heimai	0826	4/100/100	100.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+

续表 2 Continued

品种 Cultivar	省库编号 Provincial treasury no.	2016		2017		Yr5	Yr9	Yr10	Yr15	Yr18	Yr26
		IT/S/P	DI	IT/S/P	DI						
红蚂蚱 Hongmazha	0168	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
老红麦 Laohongmai	0186	2/5/5	0.25	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	+
有芒红梢头 Youmanghongshaotou	0507	3/20/10	2.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
铁堡麦 Tiebaomai	0515	0/0/0	0.00	3/10/20	2.00	-	-	-	+	-	-
红春麦 Hongchunmai	0548	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
红春麦 Hongchunmai	0237	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	+	-	-
白春麦 Baichunmai	0242	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
大红麦 Dahongmai	0249	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
白扎芒 Baizhamang	0250	0/0/0	0.0	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
春麦 Chunmai	0664	3/10/80	8.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	-
绿麦 Lümai	0910	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	+	-	-	+	-
老白麦 Laobaimai	0911	2/10/10	1.00	3/10/20	2.00	+	+	-	-	+	-
小麦 Xiaomai	0914	3/5/40	2.00	0/0/0	0.00	-	+	-	-	-	+
红半芒 Hongbanmang	0915	3/10/20	2.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
齐白麦 Qibaimai	0916	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
凤翔麦 Fengxiangmai	0347	3/20/60	12.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
有芒麦 Youmangmai	0378	3/5/10	0.50	0/0/0	0.00	-	+	+	-	-	+
和尚头 Heshangtou	0380	3/5/10	0.50	0/0/0	0.00	-	+	+	-	-	+
箭儿头 Jianertou	0361	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	+	+	+	+
青熟麦 Qingshumai	0368	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	-
红疙瘩 Honggeda	0369	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	+	-	-	-
有芒白蚂蚱 Youmangbaimazha	0379	3/20/20	4.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	+	+
红蚂蚱 Hongmazha	0392	3/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	-
白蚂蚱 Baimazha	0412	3/10/10	1.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	-
白疙瘩 Baigeda	0422	3/20/10	2.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	+	+
青大芒 Qingdamang	0423	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	-
川儿麦 Chuanermai	0427	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	-
红锁条 Hongsuotiao	0440	3/10/20	2.00	0/0/0	0.00	+	-	-	-	+	+
白春麦 Baichunmai	0401	3/10/10	10.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
红葛条 Honggetiao	0415	3/10/40	4.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
鱼儿麦 Yuermai	0419	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
红神仙 Hongshenxian	0436	3/10/5	0.50	3/10/10	1.00	-	-	-	-	-	+
红索条 Hongsuotiao	0452	3/5/10	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
白短麦 Baiduanmai	0446	2/5/5	0.25	0/0/0	0.00	+	-	-	-	-	+
大红麦 Dahongmai	0449	0/0/0	0.00	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	+
火麦 Huomai	0850	3/10/5	0.50	0/0/0	0.00	-	-	-	-	-	-
火麦 Huomai	0855	3/5/5	0.25	N	N	-	-	-	-	-	+

+: 存在; -: 不存在; N: 数据缺失; IT: 反应型; S: 严重度(%); P: 普遍率(%); DI: 病情指数。+: Present; -: absent; N: data missing; IT: infection type; S: severity (%); P: incidence (%); DI: disease index.

2.2 小麦农家品种抗条锈病性基因的分子检测

供试 223 份小麦农家品种中,有红齐麦(0004)、白麦、短红芒麦、六十黄及洋青稞等 92 份品种可能携带 *Yr5*(图 1-a);绿见口、方齐头、红光头(0122)、绿麦、老白麦(0911)、小麦(0914)、和尚头(0380)及有芒麦 8 份品种可能携带 *Yr9*(图 1-b);二芒麦、短红芒麦、六十黄、小辈力麦、绿见口及九头牛等 12 份品种可能携带 *Yr10*(图 1-c);白兰麦、冰糖麦、兰麦

(0021)、红芒麦(0023)、二芒麦及小辈力麦等 92 份品种可能携带 *Yr15*(图 1-d);二芒麦、红齐麦(0004)、白麦、六十黄、洋青稞、大辈力秃芒麦、小辈力麦、有芒白蚂蚱、红蚂蚱(0392)、白蚂蚱及白疙瘩(0422)11 份品种可能携带 *Yr18*(图 1-e);火麦(0855)、白短麦、大红麦(0249)、红锁条、白春麦(0401)、红葛条、鱼儿麦及红神仙 8 份材料可能携带 *Yr26*(图 1-f)。有 18 份品种具有 2 个抗病基因,其中, *Yr5+Yr26*

组合8份, *Yr5*+*Yr15*、*Yr15*+*Yr26*组合各3份, *Yr5*+*Yr10*、*Yr15*+*Yr18*组合各1份。有8份品种携带3个基因, 其中, *Yr5*+*Yr18*+*Yr26*组合3份, *Yr5*+*Yr15*+*Yr26*组合2份, *Yr5*+*Yr10*+*Yr15*、*Yr5*+*Yr9*+*Yr18*、*Yr10*+*Yr15*+

*Yr26*组合各1份。白麦和六十黄同时携带4个基因, 分别是 *Yr5*、*Yr15*、*Yr18*、*Yr26*。箭儿头可能同时携带5个抗条锈基因(*Yr5*、*Yr10*、*Yr15*、*Yr18*、*Yr26*)。有43个品种未检测到供试抗条锈病性基因。

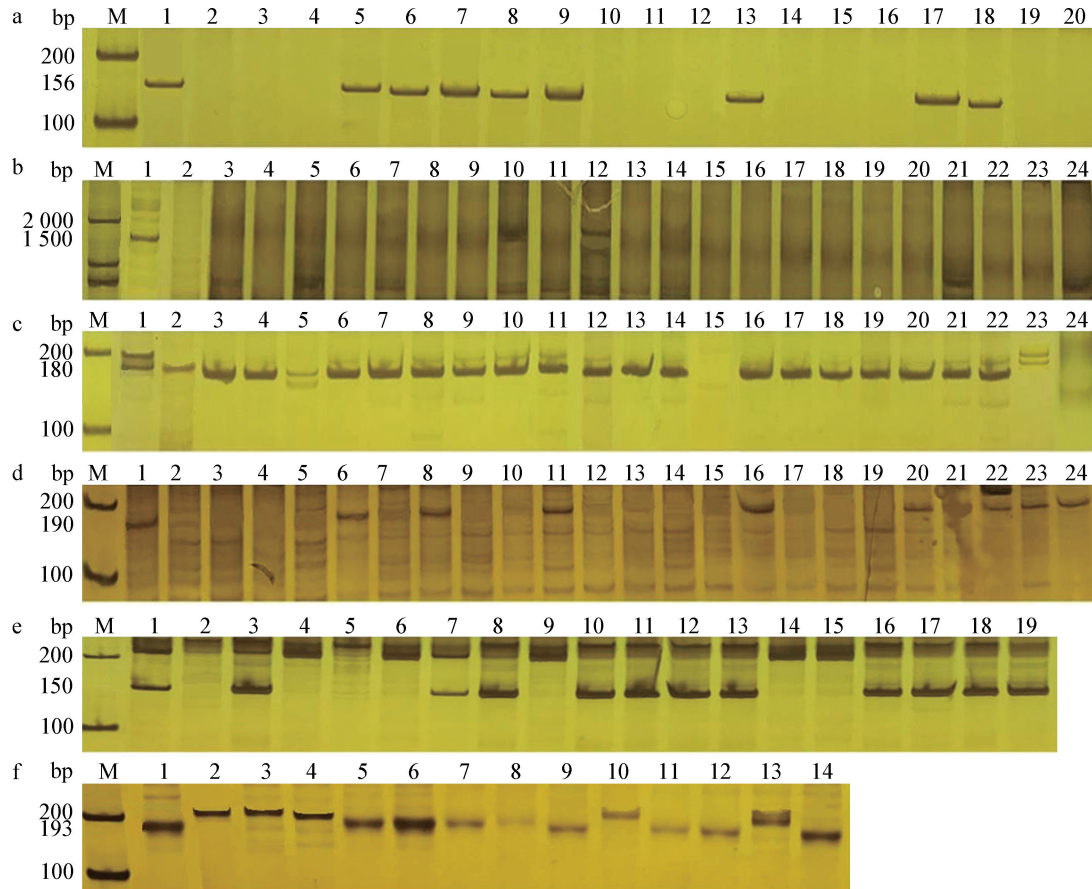


图1 甘肃省部分供试小麦农家品种抗条锈病性基因的分子检测结果

Fig. 1 Detection results of SDS-PAGE by using the markers linked to the stripe rust-resistant genes in part cultivars in Gansu Province

a~f: 检测引物分别为S1320(*Yr5*)、AF1/AF4(*Yr9*)、SC200(*Yr10*)、Xgwm273(*Yr15*)、csLV34(*Yr18*)、Gwm11(*Yr26*)。图a~f中: M为Marker; 1分别为Avocet S/*Yr5* NIL、Avocet S/*Yr9* NIL、Avocet S/*Yr10* NIL、Avocet S/*Yr15* NIL、Avocet S/*Yr18* NIL和Avocet S/*Yr26* NIL; 2是Avocet S。图a~d中: 3~20分别为老芒麦(0002)、白春麦(0003)、红齐麦(0004)、白麦、短红芒麦、六十黄、洋青稞、大犂力秃芒麦、小犂力麦、绿见口、九头牛、洋春麦、白矮春麦、冰糖麦、短腰麦、老红麦(0019)、老芒麦(0020)、兰麦(0021); 图b~d中: 21~24分别为红麦(0022)、红芒麦(0023)、二芒麦、白兰麦; 图e中: 3~19分别为二芒麦、白兰麦、老芒麦(0002)、白春麦(0003)、红齐麦(0004)、白麦、短红芒麦、六十黄、洋青稞、大犂力秃芒麦、小犂力麦、绿见口、九头牛、有芒白蚂蚱、红蚂蚱(0392)、白蚂蚱、白疙瘩(0422); 图f中: 3~14分别为青大芒、川儿麦、红锁条、白春麦(0401)、红葛条、鱼儿麦、红神仙、红索条、白短麦、大红麦(0449)、火麦(0850)、火麦(0855)。a~f: Primers are S1320(*Yr5*), AF1/AF4(*Yr9*), SC200(*Yr10*), Xgwm273(*Yr15*), csLV34(*Yr18*), Gwm11(*Yr26*), respectively. Figure a~f: M indicates marker; 1 indicates Avocet S/*Yr5* NIL, Avocet S/*Yr9* NIL, Avocet S/*Yr10* NIL, Avocet S/*Yr15* NIL, Avocet S/*Yr18* NIL, Avocet S/*Yr26* NIL, respectively; 2 indicates Avocet S. Figure a~d: 3~20 indicate Laomangmai (0002), Baichunmai (0003), Hongqimai (0004), Baimai, Duanhongmangmai, Liushihuang, Yangqingke, Dabeilitumangmai, Xiaobeilimai, Lujiankou, Jiutouniu, Yangchunmai, Baicuochunmai, Bingtangmai, Duanyaomai, Laohongmai (0019), Laomangmai (0020), Lanmai (0021), respectively. Figure b~d: 21~24 indicate Hongmai (0022), Hongmangmai (0023), Ermangmai, Bailanmai, respectively. Figure e: 3~19 indicate Ermangmai, Bailanmai, Laomangmai (0002), Baichunmai (0003), Hongqimai (0004), Baimai, Duanhongmangmai, Liushihuang, Yangqingke, Dabeilitumangmai, Xiaobeilimai, Lujiankou, Jiutouniu, Youmangbaimazha, Hongmazha (0392), Baimazha, Baigeda (0422), respectively. Figure f: 3~14 indicate Qingdamang, Chuanermai, Hongsuotiao, Baichunmai (0401), Honggetiao, Yuermai, Hongshenxian, Hongsuotiao, Baiduanmai, Dahongmai (0449), Huomai (0850), Huomai (0855), respectively.

3 讨论

以甘肃省天水市、陇南市为主的西北越夏区是我国小麦条锈病最大的越夏菌源基地,也是小麦条锈菌生理小种和品种抗锈性易变区,在全国条锈病的发生危害中具有举足轻重的地位(李振岐和曾士迈,2002)。筛选抗病材料的前提是保证其真实抗病性能充分表现,田间成株期抗病性往往代表其真实抗病水平。利用人工接种并结合自然诱发的方法进行供试材料抗病性鉴定和评价,具有极好的代表性。韩德俊等(2010)研究发现,小麦与条锈菌之间的互作存在高度专化性,条锈菌生理小种(致病类型)的代表性越强,筛选出的抗病材料的抗病稳定性越高。本研究所用混合菌种不仅包括甘肃省2016年之前的HY和水源致病类群主要流行生理小种CYR32和CYR33,亦包括了当前甘肃省流行生理小种CYR34(G22-9)和G22-14(贵农致病类群),同时还包括了对重要抗源材料中4有高致病性的新菌系中4-1。因此,本试验通过2年鉴定筛选出的50份抗病小麦农家品种具有较好的抗性稳定性、代表性和利用价值。

利用与抗病基因紧密连锁的分子标记可有效检测供试品种所携带的抗病基因,由于连锁标记与目标基因还存在一定的距离,故导致目标基因的检测结果与真实情况可能存在一定的偏差,但分子检测技术不失为一种有效的检测手段,其检测结果仍具有较高的可靠性和重要价值。本试验基因检测结果表明,有92份品种可能含有Yr5。从Yr5全生育期抗病特点来看,携带Yr5基因的小麦品种在成株期理应表现抗病,但检测中有春麦、大红麦、红蚂蚱、红早麦和白蚂蚱等33份品种田间表现感病,这可能与对Yr5有毒力的新菌系产生有关,也可能与检测结果真实性有关,尚需进一步研究。同时,随着抗病遗传育种工作的不断深入,应进一步将田间抗病性鉴定评价、遗传学分析、基因推导等传统鉴定方法与现代分子标记检测技术相结合,进行相互验证和综合分析,可很好的弥补因单项技术方法的不足所产生的结果误差,提高基因分析的可靠性。

抗病育种策略是使生产品种具有尽可能广泛而稳定的抗病遗传基础,抗病基因的有效组合,将会提高品种抗病性水平,使抗病性表现更加持久。本研究结果发现,有18份品种具有2个抗病基因,有8份品种携带3个抗病基因,白麦(0005)和六十黄(0007)同时含有4个抗病基因,分别是Yr5、Yr15、Yr18、

Yr26,其中白麦(0005)在田间连续2年保持高水平抗性(2016年高抗,2017年免疫),具有较好的抗病特点,可进一步研究利用。代君丽等(2010)对51份小麦农家品种进行基因推导,发现其中18份含有未知的抗条锈病性基因;王吐虹等(2015)在40份小麦农家品种中发现有35份含有未知的抗条锈病性基因,占87.5%,而且有较高的遗传异质性。说明小麦农家品种中含有丰富的抗病基因资源,本试验还发现有6个品种(硬粒小麦、大红芒、白芒麦、有芒冰麦、有芒白麦、白春麦,省库编号依次为0036、0080、0406、0576、0588和0242)未检测出供试的6个Yr基因,但其成株期表现抗病,可能还携带有除供试的6个目标基因外的其它未知新基因,有待进一步研究和应用。

Singh & Rajaram(1993)研究发现,当Yr18和2个具有加性效应的微效基因结合在一起时能产生较高水平的抗性且能持久。杨文雄等(2008)曾对231个小麦育成品种进行检测,发现仅有6.1%的育成品种可能携带Yr18基因;张玉薇等(2014)研究发现,75个国家审定品种中仅有西农92检测出Yr18;曾庆东等(2012)在495份小麦品种(系)中检测出只有10份携带Yr18,占2.02%;本试验结果发现,有22份材料中可能携带Yr18,占9.87%,其中成株期抗病材料中同时携带3个基因以上的材料中均有Yr18。故利用分子标记进行辅助育种,可加大对Yr18等基因的有效利用,这将会对提高陇南抗病品种抗性持久性具有较好的启迪和借鉴作用。

参考文献 (References)

- Cao SQ, Wang XM, Jia QZ, Sun ZY, Luo HS, Zhang B, Huang J, Jin MA, Wang WJ, Jin SL. 2017. Evaluation of resistance to stripe rust in wheat varieties (lines) during 2003—2013 in Longnan Region, Gansu Province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 18(2): 253–260 (in Chinese) [曹世勤, 王小明, 贾秋珍, 孙振宇, 骆惠生, 张勃, 黄瑾, 金明安, 王万军, 金社林. 2017. 2003—2013年小麦品种(系)抗条锈性鉴定及评价. *植物遗传资源学报*, 18(2): 253–260]
- Chen XM, Soria MA, Yan GP, Sun J, Dubcovsky J. 2003. Development of sequence tagged site and cleaved amplified polymorphic sequence markers for wheat stripe rust resistance gene Yr5. *Crop Science*, 43(6): 2058–2064
- Dai JL, Liu K, Niu YC, Li HL. 2010. Postulation of resistance genes to stripe rust in local wheat varieties from China. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (12): 83–87 (in Chinese) [代君丽, 刘珂, 牛永春, 李洪连. 2010. 中国小麦地方品种抗条锈病基因推导. *河南农业科学*, (12): 83–87]
- Francis HA, Leitch AR, Koebner RMD. 1995. Conversion of a RAPD-

- generated PCR product, containing a novel dispersed repetitive element, into a fast and robust assay for the presence of rye chromatin in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 90(5): 636–642
- Han DJ, Wang QL, Zhang L, Wei GR, Zeng QD, Zhao J, Wang XJ, Huang LL, Kang ZS. 2010. Evaluation of resistance of current wheat cultivars to stripe rust in northwest China, north China, and the middle and lower reaches of Changjiang River epidemic areas. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(14): 2889–2896 (in Chinese) [韩德俊, 王琪琳, 张立, 魏国荣, 曾庆东, 赵杰, 王晓杰, 黄丽丽, 康振生. 2010. “西北—华北—长江中下游”条锈病流行区系当前小麦品种(系)抗条锈病性评价. *中国农业科学*, 43(14): 2889–2896]
- Han DJ, Zhang PY, Wang QL, Zeng QD, Wu JH, Zhou XL, Wang XJ, Huang LL, Kang ZS. 2012. Identification and evaluation of resistance to stripe rust in 1980 wheat landraces and abroad germplasm. *Scientia Agricultura Sinica*, 45(24): 5013–5023 (in Chinese) [韩德俊, 张培禹, 王琪琳, 曾庆东, 吴建辉, 周新力, 王晓杰, 黄丽丽, 康振生. 2012. 1980份小麦地方品种和国外种质抗条锈性鉴定与评价. *中国农业科学*, 45(24): 5013–5023]
- Hill-Ambroz KL, Brown-Guedira GL, Fellers JP. 2002. Modified rapid DNA extraction protocol for high throughput microsatellite analysis in wheat. *Crop Science*, 42: 2088–2091
- Jia QZ, Jin SL, Cao SQ, Luo HS, Huang J, Zhang B, Jin MA. 2011. Monitoring results of physiologic races of wheat stripe rust in Gansu Province during 2008–2009. *Plant Protection*, 37(4): 130–133 (in Chinese) [贾秋珍, 金社林, 曹世勤, 骆惠生, 黄瑾, 张勃, 金明安. 2011. 2008—2009年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果. *植物保护*, 37(4): 130–133]
- Lagudah ES, McFadden H, Singh RP, Huerta-Espino J, Bariana HS, Spielmeier W. 2006. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical & Applied Genetics*, 114(1): 21–30
- Li ZQ, Zeng SM. 2002. Wheat rusts in China. Beijing: China Agriculture Press, pp. 294–295, 363 (in Chinese) [李振岐, 曾士迈. 2002. 中国小麦锈病. 北京: 中国农业出版社, pp. 294–295, 363]
- Liu TG, Peng YL, Chen WQ, Zhang ZY. 2010. First detection of virulence in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China to resistance genes *Yr24* (= *Yr26*) present in wheat cultivar Chunmai 42. *Plant Disease*, 94(9): 1163
- Liu TG, Wang BT, Jia QZ, Zhang ZY, Li Q, Cao SQ, Peng YL, Jin SL, Li MJ, Liu B, et al. 2012. Physiologic specialization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China during 2010–2011. *Journal of Triticeae Crops*, 32(3): 574–578 (in Chinese) [刘太国, 王保通, 贾秋珍, 章振羽, 李强, 曹世勤, 彭云良, 金社林, 李明菊, 刘博, 等. 2012. 2010—2011年度我国小麦条锈菌生理专化研究. *麦类作物学报*, 32(3): 574–578]
- Lu DY, Yuan WH, Li JY, Li DK, Yu XR. 1980. Studies on stripe rust resistance of the cultivar resources of wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 13(1): 15–22 (in Chinese) [路端谊, 袁文焕, 李剑雁, 李登科, 于孝如. 1980. 小麦品种资源抗条锈病的研究. *中国农业科学*, 13(1): 15–22]
- Payne PI, Nightingale MA, Krattiger AF, Holt LM. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 40(1): 51–65
- Peng JH, Fahima T, Röder MS, Li YC, Grama A, Nevo E. 2000. Microsatellite high-density mapping of the stripe rust resistance gene *YrH52* region on chromosome 1B and evaluation of its marker-assisted selection in the F_2 generation in wild emmer wheat. *New Phytologist*, 146(1): 141–154
- Shao YT, Niu YC, Zhu LH, Zhai WX, Xu SC, Wu LR. 2001. Mapping the stripe rust resistance gene *Yr10* with AFLP marker. *Chinese Science Bulletin*, 46(8): 669–672 (in Chinese) [邵映田, 牛永春, 朱立煌, 翟文学, 徐世昌, 吴立人. 2001. 小麦抗条锈病基因 *Yr10* 的 AFLP 标记. *科学通报*, 46(8): 669–672]
- Shen YH, Wang HQ, Yang TY, Zhang HG, Huang XG. 2002. Evolution of genetic diversity of spring wheat varieties in Gansu and Qinghai provinces. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 22(4): 731–740 (in Chinese) [沈裕琥, 王海庆, 杨天育, 张怀刚, 黄相国. 2002. 甘、青两省春小麦遗传多样性演变. *西北植物学报*, 22(4): 731–740]
- Singh RP, Rajaram S. 1993. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica*, 72(1/2): 1–7
- Wang CM, Zhang YP, Han DJ, Kang ZS, Li GP, Cao AZ, Chen PD. 2008. SSR and STS markers for wheat stripe rust resistance gene *Yr26*. *Euphytica*, 159(3): 359–366
- Wang TH, Guo QY, Lin RM, Yao Q, Feng J, Wang FT, Chen WQ, Xu SC. 2015. Postulation of stripe rust resistance genes in Chinese 40 wheat landraces and 40 commercial cultivars in the southern region of Gansu Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(19): 3834–3847 (in Chinese) [王吐虹, 郭青云, 蔺瑞明, 姚强, 冯晶, 王凤涛, 陈万权, 徐世昌. 2015. 中国40个小麦农家品种和甘肃南部40个生产品种抗条锈病基因推导. *中国农业科学*, 48(19): 3834–3847]
- Yang WX, Yang FP, Liang D, He ZH, Shang XW, Xia XC. 2008. Molecular characterization of slow-rusting genes *Lr34/Yr18* in Chinese wheat cultivars. *Acta Agronomica Sinica*, 34(7): 1109–1113 (in Chinese) [杨文雄, 杨芳萍, 梁丹, 何中虎, 尚勋武, 夏先春. 2008. 中国小麦育成品种和农家种中慢锈基因 *Lr34/Yr18* 的分子检测. *作物学报*, 34(7): 1109–1113]
- Zeng QD, Wu JH, Wang QL, Han DJ, Kang ZS. 2012. Application of durable resistance gene *Yr18* to stripe rust in Chinese wheat breeding. *Journal of Triticeae Crops*, 32(1): 13–17 (in Chinese) [曾庆东, 吴建辉, 王琪琳, 韩德俊, 康振生. 2012. 持久抗病基因 *Yr18* 在中国小麦抗条锈育种中的应用. *麦类作物学报*, 32(1): 13–17]
- Zhang YW, Liu B, Liu TG, Gao L, Chen WQ. 2014. Molecular detection of *Yr10* and *Yr18* genes and *IBL/IRS* translocation in wheat cultivars. *Plant Protection*, 40(1): 54–59 (in Chinese) [张玉薇, 刘博, 刘太国, 高利, 陈万权. 2014. 小麦品种抗条锈病基因 *Yr10*、*Yr18* 及 *IBL/IRS* 易位的分子检测. *植物保护*, 40(1): 54–59]

(责任编辑:李美娟)