100 个小麦品种资源抗条锈性鉴定及重要抗条锈病基因的 SSR 检测

孙建鲁[1,2,3]， 王吐虹[2]， 冯 晶[2*]， 蔺瑞明[2]， 王凤涛[2]，
姚 强[1,3,4]， 郭青云[1,3,4*]， 徐世昌[2]

（1. 青海大学农牧学院，西宁 810016；2. 中国农业科学院植物保护所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；3. 青海省农林科学院，青海省农业有害生物综合治理重点实验室，西宁 810016；4. 农业部西宁作物有害生物科学观测实验站，西宁 810016）

摘要 了解小麦品种资源对中国条锈菌生理小种的抗病性水平及其所含重要抗条锈病基因，可为合理种植和利用小麦品种提供理论依据。选用中国小麦条锈菌不同生理小种 CYR17、CYR32、CYR33 和 V26 及条锈菌混合小种分别对 100 个小麦品种资源进行苗期和成株期抗条锈性鉴定，并采用 SSR 分子标记技术检测重要抗条锈病基因 *Yr*5、*Yr*10、*Yr*15、*Yr*18、*Yr*24 和 *Yr*26。结果表明，在苗期对 4 个生理小种均表现抗病性的有‘Mos311’、‘兰天 15 号’等 30 个品种；在成株期表现抗病性的有‘Yeoman’、‘兰天 1 号’、‘小红麦’等 88 个品种；苗期和成株期均抗病的有‘Mos311’、‘兰天 15 号’等 30 个品种。SSR 检测发现，‘贵农 22’可能含有 *Yr*5，‘兰天 23 号’、‘兰天 24’号、‘中梁 04260’和‘中梁 04335’可能含有 *Yr*10，‘Little Joss’和‘中梁 5 号’可能含有 *Yr*15，‘清农 3 号’、‘兰天 2 号’、‘中梁 04335’等 19 个品种可能含有 *Yr*18，检测品种可能均不含 *Yr*24 和 *Yr*26。在鉴定中保持稳定抗病性的‘Mos311’、‘兰天 15 号’等 8 个品种在抗病品种选育中有重要应用价值。

关键词 小麦条锈病； 抗病性鉴定； *Yr* 基因； SSR 分子标记

中图分类号： S 435.121，S 432.21 **文献标识码：** A **DOI：** 10.3969/j.issn.0529 - 1542.2017.02.011

Identification of resistance to wheat stripe rust and detection of known resistance genes in 100 wheat cultivars with SSR markers

Sun Jianlu[1,2,3]， Wang Tuhong[2]， Feng Jing[2]， Lin Ruiming[2]， Wang Fengtao[2]，
Yao Qiang[1,3,4]， Guo Qingyun[1,3,4]， Xu Shichang[2]

（1. *College of Agriculture and Animal Husbandry*，*Qinghai University*，*Xining* 810016，*China*；2. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*，*Institute of Plant Protection*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*，*Beijing* 100193，*China*；3. *Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences*，*Key Laboratory for Agricultural Integrated Pest Management*，*Xining* 810016，*China*；4. *Scientific Observation and Experimental Station of Crop Pests in Xining*，*Ministry of Agriculture*，*Xining* 810016，*China*）

Abstract Clarifying the resistance level of wheat germplasm resources to Chinese stripe rust physiological races and understanding the known resistance genes in them can provide a theoretical basis for reasonable planting and utilization of wheat cultivars. Totally 100 wheat germplasm resources were inoculated with CYR17，CYR32，CYR33，V26 and mixed races of wheat stripe rust during seedling and adult stages，respectively. Meanwhile，SSR molecular markers for the known resistance genes *Yr*5，*Yr*10，*Yr*15，*Yr*18，*Yr*24 and *Yr*26 were used to detect the resistance genes. The results showed that there were 30 cultivars resistant to 4 races at seedling stage and 88 cultivars resistant to all tested races at adult stage. SSR detection showed that *Yr*5 might be contained by ‘Guinong 22’；*Yr*10 might be contained by ‘Lantian 23’，‘Lantian 24’，‘Zhongliang 04260’，and ‘Zhongliang 04335’；*Yr*15 might be contained by

收稿日期： 2016 - 08 - 24 **修订日期：** 2016 - 09 - 12
基金项目： 国家自然科学基金(31261140370，31272033)；国家重点基础研究发展计划(“973”计划)(2013CB127700)；“十二五”国家科技支撑计划(2012BAD19B04)；农业部作物种质资源保护子项目(2016NWB036 - 12)
* 通信作者 E-mail：jingfeng@ippcaas.cn；guoqingyunqh@163.com

'Little Joss' and 'Zhongliang 5'; *Yr*18 might be contained by 'Qingnong 3', 'Lantian 2', 'Zhongliang 04335' or others; *Yr*24 and *Yr*26 might be contained by none of these. There were 8 cultivars, such as 'Mos 311', and 'Lantian 15', that maintained stable resistance in the identification and had great value for resistance breeding.

Key words　wheat stripe rust;　resistance identification;　*Yr* gene;　SSR molecular marker

小麦条锈病是由小麦条锈菌引起的影响小麦生产的重要气传病害。20 世纪 50 年代至今，我国曾发生 16 次中度流行，9 次较大规模流行[1]。研究与实践证明，选育和利用抗病品种是防治小麦条锈病最经济、安全、有效的措施。由于小麦抗条锈病基因有很强的小种专化性，一个品种推广后快则 2～3 年，甚至当年，慢则 4～5 年就丧失原有的抗条锈性。对全国不同麦区小麦生产品种、地方品种、国外种质资源进行抗条锈性评价发现，小麦材料抗病性整体水平较低[2-5]。目前，对当前条锈菌流行小种仍保持一定抗病性的已知基因有 *Yr*5、*Yr*10、*Yr*15、*Yr*18、*Yr*24、*Yr*26 等，还有一些未知基因。因遗传重组、基因突变和异核作用等现象的存在，以及抗病品种抗病性利用的不合理，小麦条锈菌能不断克服所育品种的抗病性[6-7]。比如 CYR32 于 2002 年跃居为优势小种，2007 年 CYR33 亦成为优势小种[8]。近年对 *Yr*26 等抗病基因存在毒性的 V26 出现，对我国小麦安全生产构成潜在威胁。了解小麦品种所含抗病基因及抗性特点，可为有针对性地选育抗病品种提供理论支持。

本研究对 100 个小麦品种资源进行条锈病抗病鉴定与评价，并采用 SSR 技术对重要抗条锈病基因 *Yr*5、*Yr*10、*Yr*15、*Yr*18、*Yr*24 和 *Yr*26 进行分子检测。旨在获悉小麦品种资源对中国条锈菌生理小种的抗病性水平及其所含的重要抗病基因，发掘可资利用的新抗源。

1　材料与方法

1.1　供试材料

供试的 100 份小麦品种资源，包括 13 份陕西地方品种、27 份国外引进品种、60 份国内生产品种或资源材料（表 3）。感病对照'铭贤 169'，近等基因系 Avocet * 6/*Yr*5、Avocet * 6/*Yr*10、Avocet * 6/*Yr*15、Avocet * 6/*Yr*24、Avocet * 6/*Yr*26，已知基因载体品系 *T. spelta album*（含 *Yr*5）、Moro（含 *Yr*10）、Dippes Triumph（含 *Yr*15）、Anza（含 *Yr*18）、K733（含 *Yr*24）、Line R55（含 *Yr*26）。

鉴定菌系为小麦条锈菌生理小种 CYR32、CYR33、V26 和 CYR17，混合小种包括 CYR33、CYR32、CYR31、CYR29、CYR27、CYR26、CYR17、Su-1、Su-3、Su-5、Su-7、V26，菌系繁殖用感病品种'铭贤 169'。

条锈菌生理小种和国外品种、国内地方品种均由中国农业科学院植物保护研究所提供，国内生产品种由甘肃省天水市农业科学研究所和甘肃省农业科学院小麦研究所提供。

1.2　抗病性鉴定

1.2.1　苗期鉴定

苗期鉴定在中国农业科学院植物保护研究所自控温室内进行。每个供试品种选出饱满种子 15～20 粒，分别播种于 9 cm×9 cm 营养钵，置于自控温室内培养（温度：昼 15～18℃/夜 10～14℃；光照时间：12～14 h/d；光照强度：5 000～6 000 lx）。待供试品种第一片叶完全展开时，用扫接法接种，并置于 10℃接种间黑暗保湿 24 h，随后置于自控温室内培养。待感病对照品种'铭贤 169'充分发病后，按照 12 级标准[9]调查记载反应型，即 0、0;、0;$^{+}$、1、1^{+}、2^{-}、2、2^{+}、3^{-}、3、3^{+}、4，将 0～2^{+}型划分为抗病类型，3^{-}～4 划分为感病类型，抗性评价标准引自中华人民共和国农业行业标准 NY/T1443.1-2007[10]。

1.2.2　成株期鉴定

成株期鉴定在中国农业科学院植物保护研究所野外台站——农业部廊坊作物有害生物科学观测实验站鉴定病圃进行。田间设 CYR17 小种圃、CYR32 小种圃和混合圃（1.5 m 行长，0.3 m 行距）。2013 年 10 月上旬将供试材料等行距条播于 3 个病圃，顺畦垂直行向播种'铭贤 169'作为诱发行。次年 4 月上旬无风晴朗傍晚喷雾接种，接种后薄膜覆盖保湿 16 h 以上。5 月下旬待感病对照'铭贤 169'充分发病时调查 2 次，间隔 4～5 d。

1.3　抗病基因分子检测

将待测品种穴播于盛有营养土的 30 cm×40 cm 塑料方盒内，待其幼苗有两叶时剪取叶片，用改进的 CTAB 法[11-12]提取 DNA。用于 *Yr* 基因检测的引物由北京三博远志生物技术有限责任公司合成。各 *Yr* 基因检测方法参照 *Yr*5[13-16]、*Yr*10[17-18]、*Yr*15[19]、*Yr*18[18, 20-22]、*Yr*24[23-24]、*Yr*26[25-26]相应文献进行。

表 1 用于检测小麦抗条锈病基因的分子标记

Table 1 Molecular markers for detection of the resistance genes to wheat stripe rust

Yr 基因 *Yr* gene	分子标记 Linked flanking marker	引物序列(5′-3′) Primer sequence	遗传距离/ cM Genetic distance	参考文献 References
*Yr*5	S_{1320}	CAATAGTTAGGCAAATTACATCG TGCAAAGTACCTCATTTTGAGAA	—	[13]
	Wmc175	GCTCAGTCAAACCGCTACTTCT CACTACTCCAATCTATCGCCGT	9	[14-16]
*Yr*10	SC200	CTGCAGAGTGACATCATACA TCGAACTAGTAGATGCTG GC	0.5	[18]
	Xpsp3000	GCAGACCTGTGTCATTGGTC GATATAGTGGCAGCAGGATACG	1.88	[17]
*Yr*15	Xgwm413	TGCTTGTCTAGATTGCTTGGG GATCGTCTCGTCCTTGGCA	4.3	[19]
	Xbarc8	GCGGGAATCATGCATAGGAAAACAGAA GCGGGGGCGAAACATACACATAAAAACA	9	[19]
*Yr*18	Sclv34	GTTGGTTAAGACTGGTGATGG TGCTTGCTATTGCTGAATAGT	2.5	[18]
	Xgwm295	GTGAAGCAGACCCACAACAC GACGGCTGCGACGTAGAG	2.7	[20-22]
*Yr*24	Xgwm273	ATTGGACGGACAGATGCTTT AGCAGTGAGGAAGGGGATC	6.1	[23-24]
	Xgwm11	GGATAGTCAGACAATTCTTGTG GTGAATTGTGTCTTGTATGCTTCC	7.1	[23-24]
*Yr*26	Xgwm11	GGATAGTCAGACAATTCTTGTG GTGAATTGTGTCTTGTATGCTTCC	1.9	[25-26]
	Xgwm18	TGGCGCCATGATTGCATTATCTTC GGTTGCTGAAGAACCTTATTTAGG	1.9	[25-26]

2 结果

2.1 小麦品种资源对条锈菌单小种及混合小种抗条锈性鉴定与评价

苗期和成株期接种 CYR17 鉴定,100 个品种表现抗病的分别占 84.00%和 67.00%(表 2,3)。其中国外品种表现抗病的分别占 85.19%和 96.30%,国内生产品种表现抗病的分别占 90.00%和 50.00%,国内地方品种表现抗病的分别占 53.85%和 84.62%(图 1)。接种 CYR32 鉴定,100 个品种表现抗病的分别占 59.00%和 68.00%(表 2,3)。国外品种表现抗病的分别占 55.56%和 92.59%,国内生产品种表现抗病的分别占 60.00%和 55.00%,国内地方品种表现抗病的分别占 61.54%和 76.92%(图 1)。

表 2 供试品种对不同条锈菌生理小种的成株期抗性鉴定结果[1)]

Table 2 Identification of the resistance of tested cultivars to different races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at adult stage

抗性评价 Resistance evaluation	混合圃 Mixed races		CYR17		CYR32	
	品种数/个 Number	百分率/% Percentage	品种数/个 Number	百分率/% Percentage	品种数/个 Number	百分率/% Percentage
免疫 I	55	55.00	53	53.00	47	47.00
近免疫 NIM	1	1.00	1	1.00	2	2.00
高抗 HR	8	8.00	5	5.00	12	12.00
中抗 MR	8	8.00	8	8.00	7	7.00
慢锈 SR	23	23.00	30	30.00	23	23.00
中感 MS	3	3.00	3	3.00	5	5.00
高感 HS	2	2.00	0	0.00	4	4.00

1) I: Immune; NIM: Nearly immune; HR: Highly resistant; MR: Moderately resistant; SR: Slow rusting; MS: Moderately susceptible; HS: Highly susceptible.

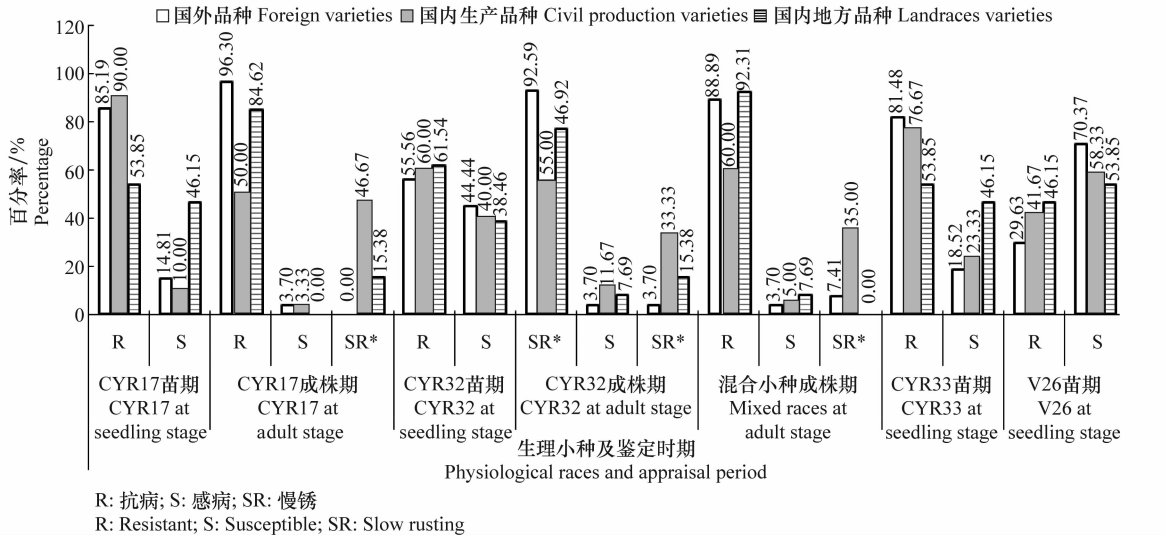


图 1　供试小麦品种在不同时期对不同条锈菌生理小种抗病性鉴定结果

Fig. 1　Resistance identification of wheat resource cultivars to different races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at different stages

成株期接种混合小种鉴定，100 个品种表现抗病的占 72.00%，表现慢锈性的品种 23 个，占总数 23.00%（表 2）。国外品种表现抗病的占 88.89%，国内生产品种表现抗病的占 60.00%，国内地方品种表现抗病的占 92.31%（图 1）。

苗期接种 CYR33 和 V26 鉴定，100 个品种表现抗病的分别占 75.00%和 39.00%，国外品种表现抗病的分别占 81.48%和 29.63%，国内生产品种表现抗病的分别占 76.67%和 41.67%，国内地方品种表现抗病的分别占 53.85%和 46.15%（图 1）。

苗期对 CYR17、CYR32、CYR33 和 V26 均表现抗病性的品种有 26 个。其中，国外品种有 6 个，占国外品种的 22.23%，且它们对混合小种也均表现免疫；国内品种有 20 个，占国内品种的 27.40%，但仅有 9 个对混合小种表现免疫。表明供试国外品种对 CYR17、CYR32、CYR33 和 V26 的综合抗性水平与国内品种相近，而对混合小种抗病性水平明显优于国内品种。

表 3　抗源材料抗病性鉴定反应型[1)]

Table 3　The identification of wheat resource cultivars

品种名称 Name	CYR33	V26	CYR17		CYR32		Mixed races
	苗期 Seedling	苗期 Seedling	苗期 Seedling	成株期 Adult	苗期 Seedling	成株期 Adult	成株期 Adult
Yeoman	0	4	0;$^{+}$～2	0	0;～2	0	0
Atou	0	3^{+}	0;	0	3^{-}～4	0	0
Mairs Huntsman	0	4	0;	0	2^{+}	0	0
Champlein	0	3^{+}	0;	0	1^{+}～2	0	0
Bouquet	0	0	0;～2^{-}	1～2	3	2	0
Holdfast	0	3^{+}	0	0	4	0;	0
Jubilar	0	4	3^{-}	0	4	2	2～2^{+}
Luke	0～1	4	3^{+}	0;	4	0;～1	0;～1
Hybrid de Bersee	4	4	0～0;	0	3	0	0
Nugaines	4	4	4	3	4	3	4
Desprez 80	0	4	0;	1	4	1	0
Vilmorin 27	0	4	0;	0	3～4	1	0
Elite-Lepeuple	0	1	0;$^{+}$	0	1～2	0	0
Starke Ⅱ	0	3^{-}	0;	0	0;$^{+}$	0	0
Mairs Widgeon	0	3	0;	0	3	0	0
Pagoda	0;	3^{-}	0;～0;$^{+}$	0	0;$^{+}$	0	0
Libellula	0	3^{+}	0;～1^{+}	2	3	2	2～3

续表 3 Table 3(Continued)

品种名称 Name	CYR33	V26	CYR17		CYR32		Mixed races
	苗期 Seedling	苗期 Seedling	苗期 Seedling	成株期 Adult	苗期 Seedling	成株期 Adult	成株期 Adult
Little Joss	4	4	2^{+}	0	2^{-}	0	0
Noe	—	4	4	1～2	3～4	2～3	3
Mos311	0	0;	0～0;	0	0;	0	0
SXAF4-3	—	—	$0;^{+}$	0	0;	1	0
Germany 2	0	0	0～0;	0	$0;\sim0;^{+}$	0	0
Flanders	0	0;	0	0	0;	0	0
Ibis	0	0	$0;\sim0;^{+}$	0	$0;^{+}$	0	0
Flinor	0	3	$0;\sim0;^{+}$	0	$2^{-}\sim2^{+}$	0	0
CappelleDesprez	0	0	0;	0	$1\sim2^{+}$	0	0
Mega	0	0	$0;\sim0;^{+}$	0	$0;^{+}\sim1^{+}$	0	0
繁 6 Fan 6	0	0	4	3～4	3～4	3～4	3
兰天 1 号 Lantian 1	0	4	0	3	4	2^{+}	0
兰天 2 号 Lantian 2	0	4	0～0;	3	3	2～3	0
兰天 3 号 Lantian 3	0	4	0	2～3	4	4	3
兰天 4 号 Lantian 4	0	4	0～2	2～3	4	3	3
兰天 6 号 Lantian 6	0	$0\sim2^{+}$	0;	2	3	3～4	3
兰天 8 号 Lantian 8	0	4	0	3	3	3～4	0
兰天 10 号 Lantian 10	0	3^{+}	0	0	3～4	1	0
兰天 11 号 Lantian 11	0	0	0	0	3	1	0
兰天 12 号 Lantian 12	0	0	0	2～3	3	2	$2\sim2^{+}$
兰天 14 号 Lantian 14	0	4	0	0	1～2	0	2
兰天 15 号 Lantian 15	0	0～1	$0;^{+}$	0	$0;\sim0;^{+}$	0	0
兰天 16 号 Lantian 16	0	4	$0;^{+}$	3	2^{+}	3～4	4
兰天 17 号 Lantian 17	0	0	0;	3	$0;\sim0;^{+}$	3	3
兰天 18 号 Lantian 18	4	4	0;	0	$0;^{+}\sim1$	0	0
兰天 19 号 Lantian 19	0	4	0;～1	0	3	1	2
兰天 20 号 Lantian 20	0	3	0	0	4	0	0;
兰天 21 号 Lantian 21	0	4	0	0	2^{+}	0	0
兰天 22 号 Lantian 22	0	0;	$0;^{+}$	0	0～0;	0	0
兰天 23 号 Lantian 23	0	0	0;～1	0	0;～2	0	0
兰天 24 号 Lantian 24	0	0	$0;^{+}$	1～2	$0;\sim0;^{+}$	0;	2～3
兰天 25 号 Lantian 25	4	4	$0;^{+}$	3	0;	1	3
兰天 26 号 Lantian 26	0	—	0～0;	0	$0;\sim2^{+}$	0	0
兰天 27 号 Lantian 27	—	0	0	0	$2\sim2^{+}$	0	0
清农 1 号 Qingnong 1	0—1	4	$0;^{+}$	2～3	3～4	3	3
清农 2 号 Qingnong 2	0	—	$0\sim1^{+}$	3	3	3～4	3
清农 3 号 Qingnong 3	0	4	0	3	$0;^{+}\sim1^{+}$	3	3
清农 4 号 Qingnong 4	4	—	0～0;	3	4	3	3
中梁 5 号 Zhongliang 5	3^{-}	—	$0;^{+}\sim2$	3	2^{+}	3～4	3
中梁 17 号 Zhongliang 17	3^{+}	0	0	1	4	3	0
武都白茧儿 Wudubaijianer	0	—	$0;\sim0;^{+}$	0	$0\sim2^{+}$	0	1
92-72-3-3	4	4	4	0	3～4	0	0
87-121-2	0	4	0	2	3～4	3	1
83-88-2	4	4	4	4	3～4	3	3
西峰 16 Xifeng 16	3^{-}	4	$3^{-}\sim4$	3	3～4	1	0;～1
庆丰 1 号 Qingfeng 1	0	4	0～0;	3	$2^{-}\sim2$	3	$2\sim2^{+}$
92R137	0	0	0～0;	1	0～0;	3	3
85-173-4	0	4	0	4	4	3	0
中梁 27 号 Zhongliang 27	0	0	0～0;	0	0;～2	0	0
中梁 31 号 Zhongliang 31	3	—	0	0	$0;^{+}$	0	0
中梁 04260 Zhongliang 04260	4	0	0～0;	0	3～4	0	0

续表 3　Table 3(Continued)

品种名称 Name	CYR33	V26	CYR17		CYR32		Mixed races
	苗期 Seedling	苗期 Seedling	苗期 Seedling	成株期 Adult	苗期 Seedling	成株期 Adult	成株期 Adult
中梁 04413 Zhongliang 04413	0	0	0;	4	0;	2	3
中梁 04335 Zhongliang 04335	0	0	0	3	0;～0;$^{+}$	3	3
中梁 04343 Zhongliang 04343	0	0	0～0;	0	0～0;	0	0
天选 43 号 Tianxuan 43	0;	0	0～0;	4	0;	0	4
天选 47 号 Tianxuan 47	4	4	0	0	0～2^{+}	0	0
天选 48 号 Tianxuan 48	0	3	0;$^{+}$	3	0～0;$^{+}$	1	3
天选 50 号 Tianxuan 50	2	0	0～0;	0	0～0;$^{+}$	0	1
天选 51 号 Tianxuan 51	0	0	0～0;	1	0;～0;$^{+}$	0	4
中梁 12 号 Zhongliang 12	0	4	0～0;$^{+}$	2	2^{+}	3～4	1
咸农 4 号 Xiannong 4	0	0	0～0;	3	4	3	0
中四(无芒) Zhongsi(Wumang)	0	0	0～0;	0	0	0	0
中梁 22 号 Zhongliang 22	0	4	0	0	0	0	0
AT8118	3^{+}	4	3^{-}	3	2^{-}	2～3	2
洮 157 Tao157	4	4	0～0;	4	1～2	2～3	3
TW00-1328	0～0;	0	0	1	0;$^{+}$	1	0
晋麦 47 Jinmai 47	4	4	3	4	4	4	3～4
98SF531	0;	4	0	4	0;$^{+}$	3	3～4
贵农 22 Guinong 22	0～0;	0	0;～0;$^{+}$	3	0;$^{+}$	0	3
天 94-3 Tian 94-3	0	0	0	3	0;～2	2	2
小红麦 Xiaohongmai	0	4	0～2	0	1～2^{+}	1	0
秃葫芦红麦 Tuhuluhongmai	0	4	0;	0	0;～2^{+}	0	0
芒麦 2 Mangmai 2	2	1	0;～1^{+}	0	0;$^{+}$～2^{+}	0	0
葫芦麦 Hulumai	0	0	2^{+}	0	3	0	0
露仁麦 Lurenmai	0;	4	0～2	0	0;～2	0	0
换香头 3 Huanxiangtou 3	0	0	3～4	2	3	0	0
蚕老麦 Canlaomai	4	4	4	0	4	0	0
烟雾麦 Yanwumai	4	4	4	0	1～2^{-}	3	1
老红麦 1 Laohongmai 1	4	4	3	3	0～2	3	2
红茧儿麦 Hongjianermai	4	0	0;$^{+}$～2	3	3～4	3～4	4
带花麦 Daihuamai	0;	0	0;～0;$^{+}$	0	0;$^{+}$	0	1
换香头 1 Huanxiangtou 1	4	4	3～4	0	3～4	0	0
南京麦 Nanjingmai	3	0	3～4	0	0～2^{+}	0	0

1) —：未知或数据缺失。
—:Unknown.

2.2　供试小麦品种所含已知抗病基因的分子检测

利用分子标记检测 100 个小麦材料，发现与 *Yr*5 紧密连锁的 Wmc175 标记在‘98SF531’和‘贵农 22’中，S_{1320}标记在‘贵农 22’等 53 个品种中分别扩增出与 *Yr*5 载体品种 *T. spelta album* 和 Avocet * 6/*Yr*5 相同的特异性条带，表明‘贵农 22’等可能含有 *Yr*5(图 2,3)。*Yr*10 紧密连锁的 SSR 标记 Xpsp3000 和 SC200 分别在‘兰天 23 号’等 37 个品种和‘兰天 23 号’等 15 个品种扩增出特异性条带，表明‘兰天 23 号’等可能含有 *Yr*10(图 2)。*Yr*15 紧密连锁的标记 Xbarc8 在‘Little Joss’、‘中梁 5 号’、‘天选 50 号’3 个品种扩增出特异性条带，标记 Xgwm413 在‘Little Joss’、‘中梁 5 号’等 10 个品种扩增出特异性条带，表明‘Little Joss’、‘中梁 5 号’等可能含有 *Yr*15(图 2)。*Yr*18 紧密连锁 SSR 标记 Xgwm295 在‘Holdfast’等 19 个品种扩增出特异性条带，sclv34 标记‘Holdfast’等 78 个品种扩增出特异性条带，表明‘Holdfast’等可能含有 *Yr*18(图 2)。*Yr*24 紧密连锁分子标记 Xgwm273 在‘Yeoman’等 25 个抗源品种扩增出特异性条带，Xgwm11 在‘Jubilar’和‘StarkII’扩增出特异性条带(图 2)，未发现 2 个标记同时扩增出特异性条带的品种，表明供试品种可能不含 *Yr*24。且标记 Xgwm11 检测到‘Libollula’等 7 个品种扩增出 *Yr*26 特异性条带，Xgwm18 在‘烟雾麦’等 24 个品种扩增出特异性条带(图 2)，未发现 2 个标记同时扩增出特异性条带的品种，表明供试品种可能不含 *Yr*26。

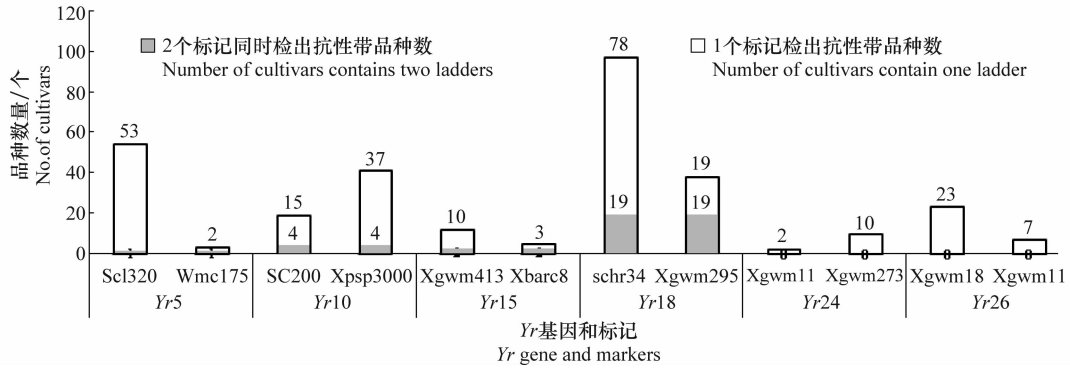
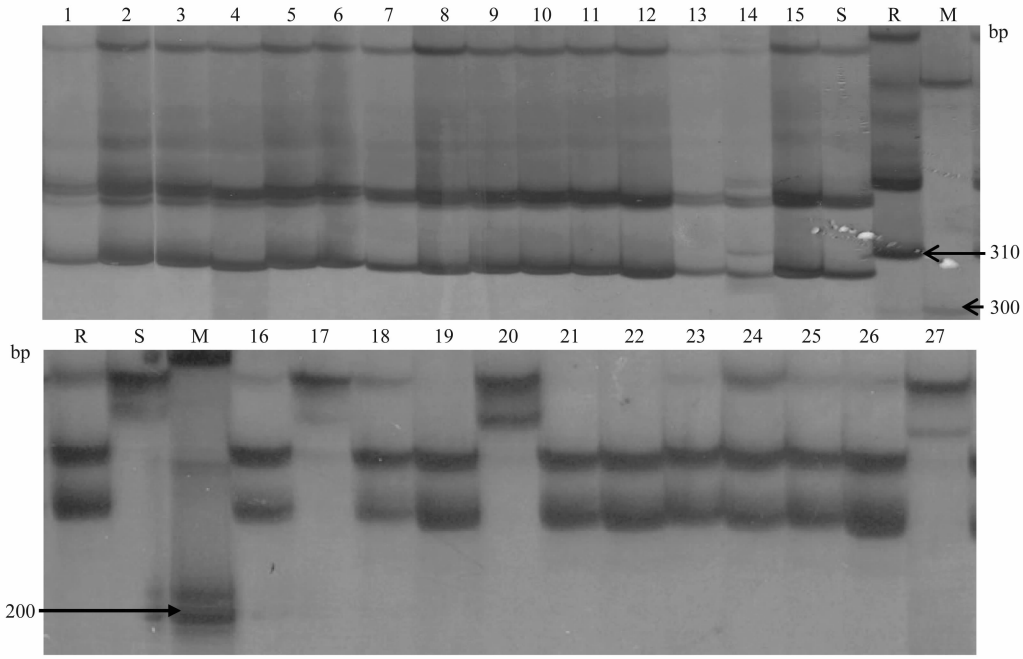


图 2 SSR 标记检测 *Yr* 基因在抗源品种分布结果

Fig. 2 *Yr* genes distribution in tested cultivars with SSR markers



M: Marker I Plus; S: Mingxian 169; R: Avocet*6/*Yr*5; 1: Yeoamn; 2: Atou; 3: Flanders; 4: Mairs Huntsman; 5: Champlein; 6: Bouquet; 7: Holdfast; 8: Jubilar; 9: Luke; 10: Hybrid de Bersee; 11: Hybrid de Bersee; 12: Nugains; 13: Desprez80; 14: Flinor; 15: Vilmorin 27; 16: 兰天17号 Lantian 17; 17: 兰天18号 Lantian 18; 18: 兰天19号 Lantian 19; 19: 兰天20号 Lantian 20; 20: 兰天21号 Lantian 21; 21: 兰天22号 Lantian 22; 22: 兰天23号 Lantian 23; 23: 兰天24号 Lantian 24; 24: 兰天25号 Lantian 25; 25: 兰天26号 Lantian 26; 26: 兰天27号 Lantian 27; 27: 清农1号 Qingnong 1

图 3 SSR 引物 Wmc175(上)和 S1320(下)检测 *Yr*5 的聚丙烯酰胺凝胶电泳图

Fig. 3 Polymorphism detected by SSR markers Wmc175 (up) and S1320 (down) for *Yr*5 by silver staining of denaturing polyacrylamide gel

3 讨论

采用 CYR17、CYR32、CYR33、V26 及混合小种对小麦品种进行苗期和成株期抗病性鉴定结果表明，大多数品种均表现出较强抗病性水平，对单小种以表现全生育期抗性为主，对混合小种以表现免疫和慢锈性为主。同时发现‘Mos311’、‘德国 2 号’、‘兰天 15 号’、‘兰天 22 号’、‘中梁 04343’、‘Flanders’、‘I-bis’、‘中四’等 8 个品种具有良好的抗病稳定性。

试验选用与抗病基因 *Yr*5、*Yr*10、*Yr*15、*Yr*18、*Yr*24 和 *Yr*26 连锁的两翼的 2 个 SSR 标记分别进行检测，降低因遗传距离较远引起的检测误差。*Yr*5 是目前少数还保持对 CYR32 和 CYR33 抗病性的有效基因。标记 Wmc175 和 S_{1320} 均能在‘贵农 22’中扩增出与阳性对照相同的特异性条带。抗性鉴定表明‘贵农 22’在苗期对 CYR17、CYR32、CYR33 和 V26 均表现免疫。‘贵农 22’是由簇毛麦 *Haynaldia villosa*、硬粒小麦 *Triticum durum* 及普通小麦 *Triticum aestivum*

杂交而育成的普通小麦品种，至少含有 3 对抗条锈病基因，其中一个位于 1BL 染色体上，命名为 *YrGn*22[27]。采用基因推导发现‘贵农 22’含有 *Yr*10[28]。‘贵农 22’成株期对 CYR17 和混合小种均表现慢锈性，并未达到 *Yr*5 控制表达的抗性水平，其是否含有 *Yr*5 需要进一步的试验验证，同时也暗示该基因在抗条锈病育种中应用前景广阔。‘天选 43 号’对 CYR17、CYR32、CYR33 和 V26 表现全生育期抗性和苗期抗性，对混合小种表现慢锈性，分子标记检测含有 *Yr*10 特异性条带。其双亲为‘8845-1-1-1-1’和‘贵农 22’，*Yr*10 可能来自亲本‘贵农 22’。曹世勤等[28]和王吐虹等[29]基因推导分析认为‘天选 43 号’含有抗病基因 *Yr*10。但曹张军等[30]通过遗传分析发现‘贵农 22’含有 3 对独立遗传的抗条锈基因，并不同于 *Yr*10。‘天选 43 号’是否含有 *Yr*10 仍需进一步验证。‘Little Joss’、‘中梁 5 号’对 CYR17、CYR32 小种均保持全生育期抗性，但‘Little Joss’苗期对 CYR33 和 V26 表现感病，‘中梁 5 号’苗期对 CYR33 表现感病。2 个品种成株期对混合小种也表现出不同抗性水平，‘Little Joss’为免疫，‘中梁 5 号’表现慢锈性。这 2 个品种表现出对条锈菌不同程度的抗病性，初步判断可能携带 *Yr*15。*Yr*24 和 *Yr*26 分别来自硬粒小麦 *T. durum* 和圆锥小麦 *T. turgidum*，均定位在 1BS 上，研究认为 *Yr*24 和 *Yr*26 为等位基因[23]。但标记 Xgwm11 发现 Avocet * 6/*Yr*24 和 Avocet * 6/*Yr*26 分别在 360 bp 和 450 bp 处出现不同的特异性条带，本试验认为 *Yr*24 和 *Yr*26 可能不是同一基因。*Yr*24 和 *Yr*26 的分子标记对供试品种未同时检出特异性条带，可能供试品种均不含 *Yr*24 和 *Yr*26。

‘中梁 04335’、‘清农 3 号’等 15 个品种可同时扩增出与 *Yr*18 相同的特异性条带。其中，‘中梁 04335’在成株期对 CYR17、CYR32 和混合小种均表现慢锈性，其成株抗病性可能由 *Yr*18 控制表达；‘清农 3 号’系谱来源为‘山前麦/6922’，成株期对 CYR17、CYR32 和混合小种表现慢锈性，而‘山前麦’作为陕西省小麦育种的主要抗源[31]，于 20 世纪 70 年代初从罗马尼亚引入，其含有黑麦 1BL/1RS 易位系，抗病性是由来源于黑麦的抗病基因 *Yr*9 控制，‘清农 3 号’抗病性是由 *Yr*9 或 *Yr*18 控制表达需要进一步的试验证明。‘兰天 2 号’、‘兰天 4 号’等兰天系列 *Yr*18 检测频率较高，而 Xgwm295 标记在农家品种中没有检测到 *Yr*18 相应的特异性条带，sclv34 仅检测到‘小红麦’和‘芒麦’有特异性条带，可能是田间选育时主要针对抗病性效果明显的高抗和免疫表型，而忽视了慢锈性基因的选择。SSR 分子标记检测小麦品种含有已知抗病基因的结果表明，供试品种含 *Yr*18 的频率较高。地方品种含未知基因频率较高，应加强对其利用。

参考文献

[1] 李振岐，曾士迈. 中国小麦锈病[M]. 北京：中国农业出版社，2002：2－15.

[2] 周新力，詹刚明，黄丽丽，等. 80 份国外春小麦种质资源抗条锈性评价[J]. 中国农业科学，2015，48(8)：1518－1526.

[3] 任勇，李生荣，周强，等. 134 份四川小麦品种(系)的条锈病抗性评价[J]. 麦类作物学报，2014，34(6)：847－853.

[4] 韩德俊，张培禹，王琪琳，等. 1980 份小麦地方品种和国外种质抗条锈性鉴定与评价[J]. 中国农业科学，2012，45(24)：5013－5023.

[5] 闫丹丹，刘太国，高利，等. 中国小麦生产品种对条锈菌不同生理小种抗病性分析[J]. 中国植保导刊，2011，31(6)：7－13.

[6] 康振生，李振岐，商鸿生. 小麦条锈菌异核作用产生的一新菌系[J]. 西北农业大学学报，1993，21(1)：97－99.

[7] Duan X, Tellier A, Wan A, et al. *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* presents high diversity and recombination in the over-summering zone of Gansu, China [J]. Mycologia, 2010, 102(1): 44－53.

[8] Chen Wanquan, Wu L R, Liu taiguo, et al. Race dynamics, diversity and virulence evolution in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the causal agent of wheat stripe rust in China from 2003 to 2007 [J]. Plant Disease, 2009, 93(11): 1093－1101.

[9] 商鸿生，任文礼，王素梅. 小麦条锈病严重度分级标准图的探讨[J]. 植物保护，1990，31(1)：31.

[10] NY/T1443.1－2007，小麦抗病虫性评价技术规范第 1 部分：小麦抗条锈病评价技术规范[S]. http://www.bzxz.net/bzxz/122521.html 2007-09-14/2016-10-10

[11] 田再民，龚学臣，张利增. 小麦 DNA 提取方法的比较[J]. 湖北农业科学，2009，48(7)：1537－1539.

[12] 李荣华，夏岩石，刘顺枝，等. 改进的 CTAB 提取植物 DNA 方法[J]. 实验室研究与探索，2009，28(9)：14－16.

[13] Chen Xiaohong, Niu Yongchun, Hu Baozhong. Identification of RAPD markers linked to the resistance gene *Yr*5 against wheat stripe rust with denaturing PAGE-silver staining [J]. Acta Genetica Sinica, 2004, 31(3): 270－274.

[14] Zhang Peng, McIntosh R A, Hoxha S, et al. Wheat stripe rust resistance genes *Yr*5 and *Yr*7 are allelic [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 120(1): 25－29.

[15] Coram T E, Wang Meina, Chen Xianming. Transcriptome analysis of the wheat-*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* interaction [J]. Molecular Plant Pathology, 2008, 9(2): 157－169.

[16] Coram T E, Settles M L, Wang Meina, et al. Surveying expression level polymorphism and single-feature polymorphism in near-isogenic wheat lines differing for the *Yr*5 stripe rust resistance locus [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2008, 117: 401－411.

[17] Bai Yulu, Zhang Chunyu, Sun Quan, et al. Molecular screen-

ing and resistance evaluation of American wheat cultivars to Chinese stripe rust races [J]. Agricultural Sciences in China, 2010, 9(10): 1455 - 1461.

[18] 张玉薇，刘博，刘太国，等. 小麦品种抗条锈病基因 Yr10、Yr18 及 1BL/RS 易位的分子检测[J]. 植物保护，2014，40(1):54 - 59.

[19] Peng J H, Fahima T, Röder M S, et al. High-density molecular map of chromosome region harboring stripe-rust resistance genes *YrH*52 and *Yr*15 derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides* [J]. Genetica, 2000, 109(3): 199 - 210.

[20] Lagudah E S, McFadden H, Singh R P, et al. Molecular genetic characterization of the *Lr*34/*Yr*18 slow rusting resistance gene region in wheat[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 114(1): 21 - 30.

[21] Suenaga K, Singh R P, Huerta-Espino J, et al. Microsatellite markers for genes *Lr*34/*Yr*18 and other quantitative trait loci for leaf rust and stripe rust resistance in bread wheat [J]. Genetics and Resistance, 2003, 93(7): 881 - 890.

[22] Spielmeyer W, McIntosh R A, Kolmer J, et al. Powdery mildew resistance and *Lr*34/*Yr*18 genes for durable resistance to leaf and stripe rust cosegregate at a locus on the short arm of chromosome 7D of wheat [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2005, 111(4): 731 - 735.

[23] Li G Q, Li Z F, Yang W Y, et al. Molecular mapping of stripe rust resistance gene *YrCH*42 in Chinese wheat cultivar Chuanmai 42 and its allelism with *Yr*24 and *Yr*26 [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 112(8): 1434 - 1440.

[24] Asad M A, Xia Xianchun, Wang Chengshe, et al. Molecular mapping of stripe rust resistance gene *YrSN*104 in Chinese wheat line Shaannong 104 [J]. Hereditas, 2012, 149(4): 146 - 152.

[25] Wang Chunmei, Zhang Yiping, Han Dejun, et al. SSR and STS markers for wheat stripe rust resistance gene *Yr*26 [J]. Euphytica, 2008, 159(3): 359 - 366.

[26] 刘丽娟，王竹林，奚亚军，等. 黄淮麦区小麦品种(系)中 *Yr*26 基因的 SSR 检测[J]. 西北植物学报，2008，28(7):1308 - 1312.

[27] 李强，贺苗苗，董海丽，等. 小麦品种贵农 22 抗条锈基因的遗传分析及分子标记[J]. 植物病理学报，2011，41(5): 495 - 501.

[28] 曹世勤，张勃，李明菊，等. 甘肃省 50 个主要小麦品种(系)苗期抗条锈基因推导及成株期抗病性分析[J]. 作物学报，2011，37(8): 1360 - 1371.

[29] 王吐虹，郭青云，蔺瑞明，等. 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[J]. 中国农业科学，2015，48(19): 3834 - 3847.

[30] 曹张军，井金学，王美南，等. 小麦品种贵农 22 号抗条锈基因遗传分析[J]. 西北植物学报，2004，24(6): 991 - 996.

[31] 李硕碧，裴阿卫，董宝云，等. 1BL/1RS 易位系对陕西小麦品质育种的影响[J]. 麦类作物学报. 2005，25(6): 40 - 43.

（责任编辑：田　喆）

致　谢

2016 年为《植物保护》审稿的专家名单

2016 年以下专家参与了《植物保护》的审稿工作，为提高我刊质量做出了重要贡献，特此向他们表示衷心感谢！

安德荣　柏连阳　彩万志　曹学仁　曹雅忠　陈法军　陈福良　陈付强　陈功友　陈怀谷　陈巨莲
陈书龙　陈志谊　程颖慧　崔海兰　丁克坚　董丰收　董金皋　董立尧　董向丽　董雅凤　杜永臣
杜予州　范洁茹　范在丰　冯　洁　冯　莉　傅　强　高微微　古勤生　郭慧芳　国立耘　韩兰芝
洪　健　洪　霓　侯茂林　胡东维　胡　高　胡同乐　胡小平　黄诚华　黄贵修　黄俊斌　黄启良
黄世文　黄文坤　黄应昆　简桂良　简　恒　江幸福　蒋红云　蒋细良　康晓慧　康振生　雷仲仁
黎起秦　李宝聚　李保华　李法曾　李健强　李　捷　李世东　李世访　李香菊　李兴红　李永丰
李云锋　李志红　梁　沛　林善海　蔺瑞明　刘保川　刘长远　刘二明　刘丰茂　刘鹏飞　刘奇志
刘太国　刘文德　刘西莉　刘晓辉　刘新刚　卢向阳　陆宴辉　罗礼智　罗雁婕　马春森　马志卿
马忠华　牛永春　农向群　潘程远　潘俊松　彭埃天　彭德良　彭云良　强　胜　秦虎强　秦玉川
青　玲　冉　炜　阮云泽　芮昌辉　盛承发　施大钊　石延霞　檀根甲　田呈明　王保通　王恩东
王广君　王金信　王进军　王　军　王开运　王明安　王少丽　王生荣　王文桥　王锡锋　王小艺
王晓鸣　王　音　王英姿　王跃进　王振营　王忠跃　魏守辉　温晓霞　吴进才　吴钜文　吴青君
吴小芹　肖悦岩　谢丙炎　徐　军　徐学农　杨安沛　杨继芝　叶优良　于佳林　虞国跃　袁会珠
曾爱平　张　帆　张国珍　张宏宇　张　杰　张　兰　张礼生　张力群　张　敏　张绍升　张新春
张永军　张友军　张云慧　张振臣　赵长山　赵文生　郑经武　郅军锐　周常勇　周国辉　周国英
周　涛　周益林　周忠实　朱小琼　朱振东　竺晓平　宗世祥　左示敏

《植物保护》编辑部

2017 年 1 月