

153 份新疆冬小麦品种 3 个条锈病抗性基因的分子检测

路子峰¹, 时晓磊¹, 李玉珊¹, 崔燕华², 仙鹤², 严勇亮¹, 张金波¹,
高海峰³, 丛花¹

(1. 新疆农业科学院农作物品种资源研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业科学院综合试验场, 乌鲁木齐 830012;

3. 新疆农业科学院植物保护研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要:【目的】研究条锈病抗性基因 *Yr 9*、*Yr 26*、*Yr Tpl 1* 在新疆 153 份冬小麦品种中的分布, 为新疆小麦抗病育种提供理论依据。【方法】利用 SSR 分子标记, 采用 PCR 扩增和聚丙烯酰胺凝胶电泳方法, 检测供试材料中是否含有小麦条锈病抗性基因 *Yr 9*、*Yr 26* 和 *Yr Tpl 1*。【结果】在 123 份冬小麦地方品种和 30 份冬小麦育成品种中, *Yr 9* 基因的检出率分别为 78.86% 和 63.33%, *Yr 26* 基因的检出率分别为 95.12% 和 73.33%, *Yr Tpl 1* 基因的检出率分别为 88.62% 和 60%。在 123 份冬小麦地方品种中, 有 87 份供试材料能同时检测出 3 个条锈病抗性基因, 占比 70.73%; 28 份供试材料能同时检测出 2 个条锈病抗性基因(*Yr 9* + *Yr 26*、*Yr 9* + *Yr Tpl 1*、*Yr 26* + *Yr Tpl 1*), 占比 22.76%; 1 份供试材料只能检测出 *Yr 9* 基因; 5 份供试材料只能检测出 *Yr 26* 基因。在 30 份冬小麦育成品种中, 15 份供试材料可以同时检测出 3 个条锈病抗性基因, 占比 50%; 7 份供试材料可以同时检测到 2 个抗性基因(*Yr 9* + *Yr 26*、*Yr 26* + *Yr Tpl 1*) 的材料, 占比 23.33%。【结论】携带 *Yr 9*、*Yr 26*、*Yr Tpl 1* 小麦条锈病抗性基因的新疆冬小麦种质资源丰富, 可以作为抗病育种的中间材料。

关键词: 冬小麦品种; 小麦条锈病; 抗病基因; 分子检测

中图分类号: S512.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1001-4330(2022)12-2924-09

0 引言

【研究意义】全球约 40% 的人口以小麦为主食^[1]。小麦条锈病是由条形柄锈菌小麦专化型 (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici*) 引起的真菌病害, 危害小麦生长。我国曾经有 4 次小麦条锈病大流行, 每次大流行均导致小麦的产量损失^[2]。小麦条锈病对农业生产造成的巨大经济损失, 严重影响着经济安全、粮食安全、社会稳定。通过分子标记检测小麦品种中的抗病基因, 筛选优异资源作为亲本培育抗病品种, 是控制小麦条锈病最为经济、环保的措施。【前人研究进展】Lupton 和 Macer 采用 *Yr* (yellow rust resistance) 命名小麦条锈病基因,

大部抗条锈病基因分来源于普通小麦, 也有一些来自于小麦近缘属种^[3]。翁东旭、Ma Jianxin、殷学贵^[4,5,6] 等开发了 *Yr 9*、*Yr 26* 和 *Yr Tpl 1* 的分子标记。李峰奇、黄亮^[7-8] 对黄淮麦区的小麦种质进行了鉴定分析, 发现 *Yr 9* 基因被检测到的频率较高。张玉薇等^[2,9-10] 通过检测, 发现了一批含有 *Yr 9* 和 *Yr 26* 基因的小麦品种。周阳等^[11-14] 对主要推广品种和部分品系进行了鉴定, 发现了一些含有 1BL/1RS (*Yr 9*) 易位系、*Yr 26*、*Yr 5* 的种质资源。王吐虹等^[15] 对中国部分农家种进行研究发现, 甘肃生产品种中抗病基因以 *Yr 9*、*Yr 24* 和 *Yr 26* 为主。黄苗苗等^[16] 通过抗病基因推导及检测, 发现所检测的小麦农家种携带 *Yr 9* 和 *Yr 26* 基因的频率较高。

收稿日期 (Received): 2021-12-20

基金项目: 国家自然科学基金 (31660389); 新疆农业科学院青年基金 (xjnkq-2016002); 乌鲁木齐市科学技术计划项目 (Z161210002)

作者简介: 路子峰 (1986-), 男, 河南辉县人, 副研究员, 研究方向为农作物种质资源创新利用, (E-mail) luzifeng712@126.com

通信作者: 丛花 (1962-), 女, 新疆博乐人, 研究员, 研究方向为小麦遗传育种, (E-mail) huacong0924@126.com

蔺瑞明^[1]、黄亮等^[17]通过对农家品种进行抗条锈病鉴定,筛选出了对主要流行小种反应型为中抗至免疫的材料。白微微等^[18]对 46 份新疆主要小麦品种(系)中的抗条锈病基因进行了分子检测,发现含有 *Yr 10* 的材料 1 份。新疆小麦地方品种在长期的互作过程中形成了较强的耐病性,具有较高的利用价值^[19]。【本研究切入点】目前,对新疆小麦地方种和育成种小麦条锈病抗病性研究报道较少,利用 SSR 分子标记,研究新疆冬小麦条锈病抗病基因 *Yr 9*、*Yr 26* 和 *YrTp1* 的分布情况。【拟解决的关键问题】采用分子检测,研究 *Yr 9*、*Yr 26* 和 *YrTp1* 三个抗病基因在新疆冬小麦品种中的分布情况,为新疆小麦抗病育种提供理论依据和备选材料。

1 材料与方

1.1 材

供试 153 份小麦品种,其中冬小麦地方品种 123 份,育成品种 30 份,全部由国家农作物种质资源库(新疆分库)保存并提供,阳性对照材料山农 20 由山东农业大学李继发老师提供。

1.2 方

1.2.1 基因组 DNA 的提取

每个品种选 10 粒饱满的种子,一周后取幼嫩的叶片,重量约 0.3 g,采用改良的 CTAB 法提取小麦叶片 DNA^[21]。使用 Nano drop(ND-100)测定 DNA 的浓度和质量,稀释至 20 ng/μL 供后期实验使用。

1.2.2 引物序列合成

用于检测 *Yr9*、*Yr 26*、*Yr Tp1* 的引物均由上海生工生物工程有限公司合成,列出引物序列。
表 1

表 1 引物序列

Table 1 Primer sequences

目标基因 Target gene	引物名称 Primername	引物序列(5' - 3') Primer sequence(5' - 3')	退火温度 Annealing temperature (℃)	参考文献 Reference
Yr 9	Yr 9 - F	AAGCACTACGAAAATATGAC	53℃	[20]
	Yr 9 - R	TCTTAAGGGGTGTTATCATA		
Yr 26	Yr 26 - F	TGGCGCCATGATTGCATTATCTTC	58℃	
	Yr 26 - R	GGTTGCTGAAGAACCTTATTTAGG		
Yr Tp1	Yr Tp1 - F	CGTCGAAAACCGTACACTCTCC	58℃	
	Yr Tp1 - R	GCGAAACAGAATAGCCCTGATG		

1.2.3 PCR 扩增及电泳检测

PCR 扩增仪型号为 BIORAD T1000 Touch™ Thermal Cycler;PCR 反应体系为 10 μL,包含全式金 2'Easysaq PCR SuperMix 5 μL,上下游引物(10 μmol/L)各 0.2 μL,模板 DNA(20 ng/μL) 1 μL,ddH₂O 3.6 μL。PCR 反应程序为:94℃ 预变性 5 min, 94℃ 变性 30s, 退火 30s, 72℃ 延伸 1 min, 35 个循环; 72℃ 延伸 10 min; 12℃ 保温。表 1

扩增产物用 6% 聚丙烯酰胺凝胶进行电泳检测,电压 200 伏,电泳 45 min,电泳结束后使用 BIORAD 凝胶成像系统观察并拍照保存。

根据翁东旭等^[5,19]的研究结果,含有 *Yr 9* 基因的品种能扩增出 135 bp 的特异性片段。利用这个分子标记对 153 份新疆冬小麦品种进行分子

检测,以山农 20 为阳性对照,水为阴性对照。

依据李继发等^[20]在研究山农 20 品种时所开发的分子标记,根据殷学贵等^[4]的研究结果,利用 2B 染色体短臂上的微卫星引物对供试品种进行分子检测。

2 结果与分析

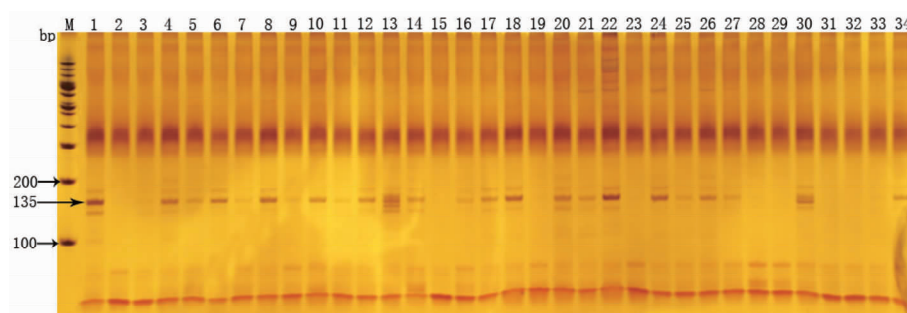
2.1 抗性基因的分子标记检测

研究表明,在白冬麦(乌鲁木齐)、红冬麦(昌吉)、无芒麦(米泉)、阿尔泰冬麦(阿尔泰)、库孜尔库孜格(库尔勒)、阿克苏斯格(库尔勒)等 97 份(占比 78.9%)新疆冬小麦地方种和喀冬 2 号、伊农 1 号、新冬 1 号等 19 份(占比 63.3%)新疆冬小麦育成种中检测到了 *Yr 9*(135 bp)的分子标记,与阳性对照检测结果一致。图 1

在早熟冬麦(布尔津)、焉耆冬麦(焉耆)、无芒(伊犁)、麦洛瓦西(库尔勒)、纳瓦提然(新和)等 117 份(占比 95.1%)新疆冬小麦地方种和喀冬 9 号、伊农 3 号、新冬 4 号等 22 份(占比 73.3%)新疆冬小麦育成种材料中检测到了 *Yr26* (186 bp)的分子标记,与阳性对照一致。图 2

含有 *Yr Tp1* 基因的供试材料可以扩增出 167

bp 的特异性片段。经过分析,在河西巴克红麦(库尔勒)、巴利巴式(库尔勒)、拉瓦得朗(沙雅)、哈热克(伽师)、阿克不大衣(疏勒)等 109 份(占比 88.6%)新疆冬小麦地方种和喀冬 9 号、伊农 3 号、新冬 8 号等 18 份(60%)新疆冬小麦育成种中可以检测到 *Yr Tp1* (占比 167 bp)的特异分子标记。图 3

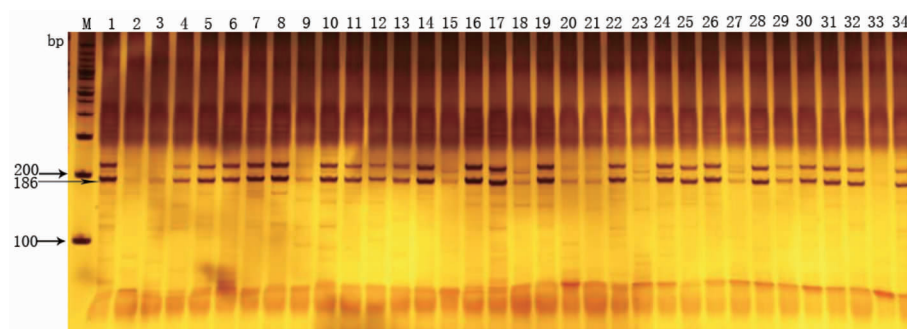


注:M:Trans 100 bp;1:山农 20;2:ddH₂O;3:红穗白粒;4:无芒;5:白穗白粒;6:白冬麦(鄯善);7:白芒冬麦;8:金包银;9:早熟冬麦;10:阿尔泰冬麦;11:红冬麦(和静);12:南疆白冬麦;13:红冬麦(哈密);14:南疆冬麦;15:买洛瓦西;16:黑冬麦;17:白冬麦(库车);18:纳瓦提然;19:焉耆冬麦;20:白冬麦(新和);21:热衣木夏;22:拉瓦得朗;23:土种麦;24:新冬 1 号;25:新冬 2 号;26:新冬 4 号;27:新冬 7 号;28:新冬 2 号;29:新冬 29 号;30:新冬 35 号;31:新冬 46 号;32:新冬 49 号;33:新冬 50 号;34:新冬 52 号

Note: M: Trans 100bp; 1: Shannong 20; 2: ddH₂O; 3: Red Spike with White Grain; 4: Awnless; 5: White Spike with White Grain; 6: White Winter Wheat (Shanshan); 7: Winter Wheat with White Awn; 8: Vajazzle; 9: Early maturing Winter Wheat; 10: Altai Winter Wheat; 11: Red Winter Wheat (Hejing); 12: White Winter Wheat in South Xinjiang; 13: Red Winter Wheat (Hami); 14: Witer Wheat in South XinJiang; 15: Melowassi; 16: Black Winter Wheat; 17: White Winter Wheat (Kuqa); 18: Navathiran; 19: Yanqi Winter Wheat; 20: White winter wheat (Xinhe); 21: Reyimuxia; 22: Lavaderan; 23: Soil Wheat; 24: Xindong 1; 25: Xindong 2; 26: Xindong 4; 27: Xindong 7; 28: Xindong 2; 29: Xindong 29; 30: Xindong 35; 31: Xindong 46; 32: Xindong 49; 33: Xindong 50; 34: Xindong 52

图 1 部分小麦品种 *Yr 9* 基因的扩增图谱

Fig. 1 Amplification for *Yr 9* gene detection

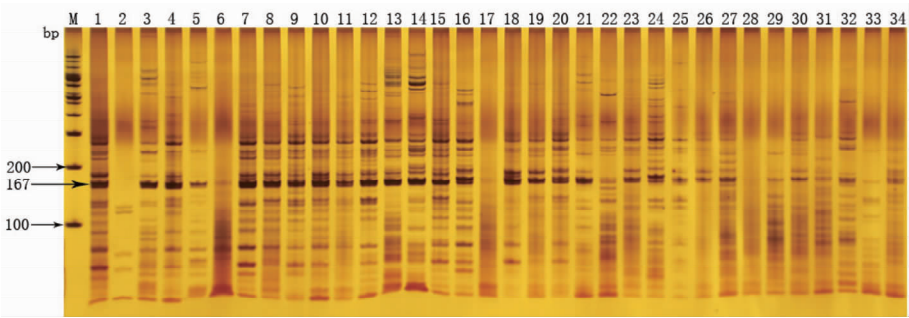


注:M:Trans 100 bp;1:山农 20;2:ddH₂O;3:小白冬麦;4:红冬麦(玛纳斯);5:红穗粒;6:红冬麦(吐鲁番);7:红穗白粒(吐鲁番);8:金包银;9:阳霞红冬麦;10:白穗白粒;11:白冬麦;12:红冬麦(和静);13:红冬麦(焉耆);14:库孜尔库孜格;15:红冬麦(轮台);16:麦洛瓦西(库尔勒);17:阿克古斯格;18:白冬麦(阿瓦提);19:白穗早熟冬麦;20:白冬麦(岳普湖);21:黑冬麦(和田);22:早熟冬麦;23:新冬 5 号;24:新冬 1 号;25:新冬 2 号;26:新冬 4 号;27:新冬 22 号;28:新冬 27 号;29:新冬 28 号;30:新冬 32 号;31:新冬 33 号;32:新冬 35 号;33:新冬 41 号;34:新冬 49 号

Note: M: Trans 100bp; 1: Shannong 20; 2: ddH₂O; 3: Small White Winter Wheat; 4: Red Winter Wheat (Manas); 5: Red Spike Grain; 6: Red Winter Wheat (Turpan); 7: Red Spike with White Grain (Turpan); 8: Vajazzle; 9: Yangisar Red Winter Wheat; 10: White Spike with White Grain; 11: White Winter Wheat; 12: Red Winter Wheat (Hejing); 13: Red Winter Wheat (Yanqi); 14: Kuzir Kuzig; 15: Red Winter Wheat (Luntai); 16: Melowassi (Korla); 17: Akgusge; 18: White Winter Wheat (Awati); 19: White Spike Early Maturing Winter Wheat; 20: White Winter Wheat (Yopurga county); 21: Black Winter Wheat (Hotan); 22: Early Maturing Winter Wheat; 23: Xindong 5; 24: Xindong 1; 25: Xindong 2; 26: Xindong 4; 27: Xindong 22; 28: Xindong 27; 29: Xindong 28; 30: Xindong 32; 31: Xindong 33; 32: Xindong 35; 33: Xindong 41; 34: Xindong 49

图 2 部分小麦品种 *Yr 26* 基因的扩增图谱

Fig. 2 Amplification for *Yr26* gene detection



注:M:Trans 100bp;1:山农 20;2:ddH₂O;3:红冬麦(昌吉);4:无芒麦;5:白冬麦;6:小白冬麦;7:红冬麦(和静);8:红冬麦(焉耆);9:库孜尔库孜格;10:巴利巴式;11:红冬麦(库尔勒);12:冬麦(轮台);13:黑冬麦(库车);14:白冬麦(新和);15:红冬麦(乌什);16:哈热克;17:黑冬麦(墨玉);18:卡尔库孜干;19:早熟冬麦;20:喀冬 2 号;21:新冬 1 号;22:新冬 5 号;23:新冬 7 号;24:新冬 10 号;25:新冬 11 号;26:巴冬 1 号;27:新冬 27 号;28:新冬 29 号;29:新冬 32 号;30:新冬 33 号;31:新冬 35 号;32:新冬 49 号;33:新冬 50 号;34:新冬 52 号
Note:M: Trans 100bp;1:1:ShanNong 20;2:ddH₂O;3: White Winter Wheat(Changji);4: Awnless Wheat;5: White Winter Wheat;6:Small White Winter Wheat;7: Red Winter Wheat(Hejing);8: Red Winter Wheat(Yanqi);9: Kuzir Kuzig;10: Baliba;11: Red Winter Wheat(korla);12: Winter Wheat(Luntai);13: Black Winter Wheat(kuqa);14: White Winter Wheat(Xinhe);15: Red Winter Wheat(Wushi County);16: Harek;17: Black Winter Wheat(Moyu);18: Kalkuzgan;19: Early Maturing Winter Wheat;20: Kadong 2;21: Xindong 1;22: Xindong 5;23: Xindong 7;24: Xindong 10;25: Xindong 11;26: Badong 1;27: Xindong 27;28: Xindong 29;29: Xindong 32;30: Xindong 33;31: Xindong 35;32: Xindong 49;33: Xindong 50;34: Xindong 52

图 3 部分小麦品种 *Yr Tp1* 基因的扩增图谱
Fig. 3 Amplification for *YrTp1* gene detection

2.2 *Yr9*、*Yr26*、*Yr Tp1* 基因在新疆冬小麦品种中的分布

研究表明,*Yr 9* 基因在 123 份冬小麦地方种和 30 份冬小麦中的检出率分别为 78.86% 和 63.33%,*Yr26* 基因分别为 95.12% 和 73.33%,*Yr Tp1* 基因分别为 88.62% 和 60%。

在新疆冬小麦地方种中,白冬麦(乌鲁木齐)、青心兰麦(玛纳斯)、金包银(哈密)、库孜尔库孜格(库尔勒)、纳瓦提然(新和)、热衣木夏(新和)、可孜不大衣(疏勒)、白壳白粒红心冬麦(喀什)、乌恰白麦(乌恰)等 87 份供试材料可以同时检测到 3 个抗病基因,占比 70.73%;小白冬麦(呼图壁)、小白冬麦(玛纳斯)、红穗粒(吐鲁

番)、白芒冬麦(哈密)、早熟冬麦(布尔津)等 28 份供试材料可以检测到 2 个抗性基因(*Yr9* + *Yr26*、*Yr9* + *Yr Tp1*、*Yr26* + *Yr Tp1*),占比 22.76%;白冬麦(阿瓦提)只携带 *Yr9* 基因;买洛瓦西(库车)、安迪然冬麦(喀什)、白冬麦(岳普湖)、黑冬麦(墨玉)、黑冬麦(和田)5 份供试材料只携带 *Yr26* 基因。

在新疆冬小麦育成种中,喀冬 2 号、伊农 3 号、巴冬 1 号、新冬 7 号、新冬 10 等 15 份供试材料中可以同时检测到 3 个抗病基因的分子标记,占比 50%;伊农 1 号、新冬 2 号、新冬 9 号等 7 份供试材料中可以检测到 2 个抗性基因的分子标记(*Yr9* + *Yr26*、*Yr26* + *Yr Tp1*),占比 23.33%。表 2

表 2 供试冬小麦品种及分子检测结果
Table 2 Wheat cultivars tested and results of molecular detection

编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	<i>Yr 9</i>	<i>Yr 26</i>	<i>Yr Tp1</i>	编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	<i>Yr 9</i>	<i>Yr 26</i>	<i>Yr Tp1</i>
1	白冬麦	乌鲁木齐	+	+	+	11	红冬麦	阜康	+	+	+
2	红冬麦	昌吉	+	+	+	12	白冬麦	呼图壁	+	+	+
3	白冬麦	昌吉	+	+	+	13	小白冬麦	呼图壁	+	+	-
4	红壳冬麦	昌吉	+	+	+	14	红壳小白冬麦	玛纳斯	+	+	+
5	白冬麦	昌吉	+	+	+	15	青心兰麦	玛纳斯	+	+	+
6	白冬麦	昌吉	+	+	+	16	小白冬麦	玛纳斯	+	+	+
7	红壳白粒红冬麦	米泉	+	+	+	17	小白冬麦	玛纳斯	+	-	+
8	无芒麦	米泉	+	+	+	18	红冬麦	玛纳斯	+	+	+
9	红冬麦	奇台	+	+	+	19	红穗粒	吐鲁番	-	+	+
10	白冬麦	阜康	+	+	+	20	红冬麦	吐鲁番	+	+	+

续表 2 供试冬小麦品种及分子检测结果

Table 2 Wheat cultivars tested and results of molecular detection

编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	Yr 9	Yr 26	Yr Tpl	编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	Yr 9	Yr 26	Yr Tpl
21	红穗白粒	吐鲁番		+	+	65	梁山冬麦	沙雅	+	+	+
22	红穗白粒	吐鲁番	+	+	+	66	沙雅冬麦	沙雅	+	+	+
23	白穗白粒	吐鲁番	+	+	+	67	尉刀小麦	沙雅	+	+	+
24	白冬麦	鄯善	+	+	+	68	红冬麦	温宿	+	+	+
25	白芒冬麦	哈密		+	+	69	红冬麦	阿克苏	+	+	+
26	金包银	哈密	+	+	+	70	红冬麦	阿克苏	+	+	+
27	红壳冬麦	哈密		+	+	71	红冬麦	阿克苏	+	+	+
28	红冬麦	哈密	+	+	+	72	黑冬麦	阿瓦提		+	+
29	白冬麦	哈密	+	+	+	73	沙雅冬麦	阿瓦提	+	+	+
30	红冬麦	塔城	+	+	+	74	白冬麦	阿瓦提	+		
31	白冬麦	沙湾	+	+	+	75	红冬麦	乌什	+	+	+
32	小冬麦	沙湾	+	+	+	76	白冬麦	伽师		+	+
33	冬麦	乌苏	+	+	+	77	哈热克	伽师	+	+	+
34	早熟冬麦	布尔津		+	+	78	吧子条播	伽师	+	+	+
35	阿尔泰冬麦	阿勒泰	+	+	+	79	白冬麦	伽师	+	+	+
36	无芒	伊犁	+	+	+	80	白冬麦	伽师	+	+	+
37	红冬麦	和静	+	+	+	81	黑冬麦	伽师		+	+
38	红冬麦	和静		+	+	82	白冬麦	疏附	+	+	+
39	焉耆冬麦	焉耆		+	+	83	红冬麦	疏附	+	+	+
40	南疆白冬麦	焉耆	+	+		84	阿克不大衣	疏勒	+	+	+
41	红冬麦	焉耆	+	+	+	85	可孜不大衣	疏勒	+	+	+
42	南疆冬麦	焉耆	+	+	+	86	红冬麦	疏勒	+	+	+
43	库孜尔库孜格	库尔勒	+	+	+	87	土种麦	疏勒		+	+
44	麦洛瓦西	库尔勒	+	+	+	88	白冬麦	疏勒	+	+	+
45	麦洛瓦西	库尔勒	+	+	+	89	阿伯格其力克	疏勒		+	+
46	阿克古斯格	库尔勒	+	+	+	90	白冬麦	疏勒	+	+	+
47	阿克古斯格	库尔勒	+	+	+	91	黑冬麦	疏勒		+	+
48	河西巴克红麦	库尔勒	+	+	+	92	红皮红冬麦	疏勒	+	+	+
49	阳霞红冬麦	库尔勒	+		+	93	白冬麦	疏勒	+	+	+
50	巴利巴式	库尔勒	+	+	+	94	白壳白粒红心冬麦	喀什	+	+	+
51	阿克库孜盖	库尔勒	+	+		95	白冬麦	喀什	+	+	+
52	红冬麦	库尔勒	+	+	+	96	哈热克巴斯曼	喀什	+	+	+
53	白冬麦	若羌	+	+		97	安迪然冬麦	喀什		+	
54	冬麦	若羌	+	+	+	98	乌恰白麦	乌恰	+	+	+
55	冬麦	轮台	+	+	+	99	麦盖提白冬麦	麦盖提		+	+
56	红冬麦	轮台	+		+	100	白粒早熟	莎车		+	+
57	买洛瓦西	库车		+		101	白晚冬麦	莎车	+	+	+
58	黑冬麦	库车	+	+	+	102	白冬麦	莎车	+	+	
59	白冬麦	库车	+	+	+	103	白晚冬麦	莎车	+	+	+
60	纳瓦提然	新和	+	+	+	104	红芒早	莎车		+	+
61	白冬麦	新和	+	+	+	105	白穗早熟冬麦	莎车		+	+
62	白冬麦	新和	+	+	+	106	白冬麦	莎车	+	+	+
63	热衣木夏	新和	+	+	+	107	黑穗麦	岳普湖	+	+	+
64	拉瓦得朗	沙雅	+	+	+	108	白冬麦	岳普湖		+	

续表 2 供试冬小麦品种及分子检测结果

Table 2 Wheat cultivars tested and results of molecular detection

编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	Yr 9	Yr 26	Yr Tpl1	编号 Code	品种名 Cultivar name	来源 Origin	Yr 9	Yr 26	Yr Tpl1
109	白冬麦	岳普湖				132	新冬 4 号		+	+	+
110	黑冬麦	叶城	+	+	+	133	新冬 5 号				
111	红冬麦	叶城	+	+	+	134	新冬 7 号		+	+	+
112	哈阿热托司曼	叶城	+	+	+	135	新冬 8 号		+	+	+
113	卡巴什曼	叶城	+	+		136	新冬 9 号		+	+	
114	黑冬麦	墨玉		+		137	新冬 10 号		+	+	+
115	白冬麦	洛浦		+	+	138	新冬 11 号		+	+	+
116	黑冬麦	洛浦		+	+	139	新冬 22 号				
117	卡尔库孜干	于田	+	+	+	140	新冬 26 号				
118	克孜尔库孜干	民丰	+	+	+	141	新冬 27 号		+	+	+
119	黑冬麦	和田				142	新冬 28 号		+	+	
120	黑冬麦	和田		+		143	新冬 29 号				
121	早熟冬麦	和田	+	+	+	144	新冬 32 号		+	+	+
122	白冬麦	和田	+	+	+	145	新冬 33 号			+	+
123	卡衣木江	和田	+	+	+	146	新冬 35 号		+	+	+
124	喀冬 2 号		+	+	+	147	新冬 41 号				
125	喀冬 9 号		+	+	+	148	新冬 46 号				
126	伊农 1 号		+	+		149	新冬 49 号			+	+
127	伊农 3 号		+	+	+	150	新冬 50 号				
128	巴冬 1 号		+	+	+	151	新冬 51 号		+	+	+
129	新冬 1 号		+	+	+	152	新冬 52 号		+	+	+
130	新冬 2 号		+	+		153	新冬 53 号				
131	新冬 3 号			+	+						

注:“+”表示存在,“-”表示不存在
Note:“+”表示 Present,“-”表示 Absent

3 讨论

目前已定位出 80 多个抗条锈病基因和近 200 个 QTLs,但是在实际育种中能应用的仍只是少数几个基因/QTLs,如 Yr1、Yr5、Yr9、Yr10、Yr15、Yr17、Yr18、Yr24/26 等。原因是新的小麦条锈菌生理小种的不断出现,另外一个原因是某段时间内小麦栽培品种所携带的抗性基因资源比较单一^[1,3,22]。某些 Yr 基因单独被使用不具有生产价值,但是通过基因聚合育成的品种具有更广泛的遗传背景^[23],对小麦条锈菌的抗性会更强。研究中对 123 份新疆冬小麦地方种和 30 份育成种进行了分子检测,检测结果表明有 115 份地方种和 22 份育成种可能含有 2-3 个所检测的抗病基因,分别占检测品种总数的 93.50% 和 73.33%。所检测的大部分品种本身可能含有多个抗病基

因,结合抗病育种中基因聚合的策略,将这些材料作为亲本或者中间材料开展抗病育种工作,杂交后代含有多个抗病基因的概率会更高。

小麦地方种也称农家品种,是经过长期的自然选择和人为影响后保存下来的种质资源,对当地的自然生态环境具有良好的适应性^[16],具有较大的生产潜力^[19]。新疆冬小麦地方种种质资源丰富,明确其携带的抗病基因及其遗传基础,对于指导该区小麦抗病育种有重要意义。研究中所筛选的材料也是以其团队前期对新疆冬小麦地方种进行抗病性评价为基础,通过利用 Yr9、Yr26 和 Yr Tpl1 基因的 SSR 分子标记对新疆 123 份冬小麦地方种进行检测,明确了供试地方种所含的抗条锈病基因及其组合类型。

由于 SSR 分子标记与目的基因连锁不紧密,本研究的检测结果与实际情况会出现一定概率的

失真,但是 SSR 分子标记具有稳定性好、方便经济的优点,其检测结果具有较高的可信度和参考价值^[16]。小麦育成种是育种家经过多年的田间试验,杂交组合,筛选出的优良品种,适应了一定时期的生产需要。研究中,供试 30 份冬小麦育成种中,8 份材料没有检测到所选择的 3 个抗病基因中的任何一个标记。可能与分子标记检测结果的失真有关系,还需要进一步开展研究。

4 结 论

3 个条锈病抗病基因在新疆冬小麦地方品种和育成种中的检出率都比较高,而且所含的抗性基因组合类型也比较丰富。在 153 份新疆冬小麦品种中, Yr 9 基因的检出率为 75.82%, Yr 26 基因的检出率为 84.31%, Yr Tp1 基因的检出率为 83.66%。检测出 3 个条锈病抗病基因的供试材料有 102 份,占比 66.67%;检测出 2 个条锈病抗性基因 (Yr 9 + Yr 26、Yr 9 + Yr Tp1、Yr 26 + Yr Tp1) 的供试材料有 35 份,占比 22.87%;1 份供试材料只能检测出 Yr 9 基因;5 份供试材料只能检测出 Yr 26 基因。在育种实践中,可结合新疆冬小麦地方品种和育成种的农艺性状和产量性状,进行育种亲本的选择,使育种工作更加有目的性和针对性。

参考文献 (References)

- [1] 蔺瑞明,郝彦敏,冯晶,等. 中国小麦农家品种抗条锈病的鉴定与评价[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(5): 535-539.
LIN Ruiming, QIE Yanmin, FENG Jing, et al. Identification of the Yellow Rust Resistance Gene - Carrying Wheat Landraces in China[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2010, 41(5): 535-539.
- [2] 杨亨,康晓慧,陈万权,等. 78 份冬小麦区试品种抗条锈病基因的分子检测[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2019, 42(3): 34-41.
YANG Heng, KANG Xiaohui, CHEN Wanquan, et al. Molecular Detection of Stripe Rust Resistance Genes in 78 Winter Wheat Regional Trial Cultivars [J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2019, 42(3): 34-41.
- [3] 韩德俊,康振生. 中国小麦品种抗条锈病现状及存在问题与对策[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 1-12.
HAN Dejun, KANG Zhensheng. Current status and future strategy in breeding wheat for resistance to stripe rust in China[J]. *Plant Protection*, 2018, 44(5): 1-12.
- [4] 翁东旭,徐世昌,蔺瑞明,等. 小麦条锈菌鉴别寄主抗条锈病基 Yr 9 的微卫星标记[J]. 遗传学报, 2005, (9): 937-941.
WENG Dongxu, XU Shichang, LIN Ruiming, et al. Microsatellite Marker Linked with Stripe Rust Resistant Gene Yr 9 in Wheat [J]. *Acta Genetica Sinica*, 2005, (9): 937-941.
- [5] Ma J, Zhou R, Dong Y, et al. Molecular mapping and detection of the yellow rust resistance gene Yr26 in wheat transferred from *Triticum turgidum* L. using microsatellite markers [J]. *Euphytica*, 2001, 120(2): 219-226.
- [6] 殷学贵,尚勋武,庞斌双,等. A-3 中抗条锈新基因 Yr Tp1 和 Yr Tp2 的分子标记定位分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(1): 10-17.
YIN Xuegui, SHANG Xunwu, PANG Binshuang, et al. Molecular Mapping of Two Novel Stripe Rust Resistance Genes YrTp1 and YrTp2 in A-3 Derived from *Triticumaestivum* × *Thinopyrum ponticum* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(1): 10-17.
- [7] 李峰奇,韩德俊,魏国荣,等. 黄淮麦区 126 个小麦品种(系)抗条锈病基因的分子检测[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3060-3069.
LI Fengqi, HAN Dejun, WEI Guorong, et al. Molecular Detection of Stripe Rust Resistant Genes in 126 Winter Wheat Varieties from the Huanghuai Wheat Region [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3060-3069.
- [8] 黄亮,刘太国,刘博,等. 黄淮麦区 34 个小麦主栽品种(系)抗条锈病基因推导[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 159-163.
HUANG Liang, LIU Taiguo, LIU Bo, et al. Postulation of yellow rust resistance genes in 34 wheat cultivars from Huanghuai wheat growing region [J]. *Plant Protection*, 2019, 45(1): 159-163.
- [9] 张玉薇,刘太国,刘博,等. 中国 75 个国审小麦品种抗条锈基因推导[J]. 植物保护学报, 2014, 41(1): 45-53.
ZHANG Yuwei, LIU Taiguo, LIU Bo, et al. Gene postulation of stripe rust resistance genes of 75 Chinese commercial wheat cultivars [J]. *Acta Phytolacica Sinica*, 2014, 41(1): 45-53.
- [10] 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.
LIU Lingjuan, WANG Zhulin, XI Yajun, et al. Detection of Stripe Rust Resistant Gene Yr26 with SSR Markers in Wheat Cultivars of Huanghuai Region [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(7): 1308-1312.
- [11] 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, (6): 531-535.
ZHOU Yang, HE Zhonghu, ZHANG Gaisheng, et al. Utilization of 1BL/1RS Translocation in Wheat Breeding in China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, (6): 531-535.
- [12] 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.
HAN Dejun, ZHANG Peiyu, WANG Qilin, et al. Identification

- and Evaluation of Resistance to Stripe Rust in 1980 Wheat Landraces and Abroad Germplasm[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(24): 5013–5023.
- [13] 孙建鲁,王吐虹,冯晶,等. 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[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 64–72.
- SUN Jianlu, WANG Tuhong, FENG Jing, et al. Identification of resistance to wheat stripe rust and detection of known resistance genes in 100 wheat cultivars with SSR markers[J]. *Plant Protection*, 2017, 43(2): 64–72.
- [14] 管方念,龙黎,姚方杰,等. 152 份黄淮海麦区小麦农家品种抗条锈性评价及重要条锈病抗性基因的分子检测[J]. 中国农业科学, 2020. 53(18): 3629–3637.
- GUAN Fangnian, LONG Li, YAO Fangjie, et al. Evaluation of Resistance to Stripe Rust and Molecular Detection of Important Known Yr Gene(s) of 152 Chinese Wheat Landraces from the Huang-huai-hai[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(18): 3629–3637.
- [15] 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.
- WANG Tuhong, GUO Qingyun, LIN Ruiming, et al. Postulation of Stripe Rust Resistance Genes in Chinese 40 Wheat Landraces and 40 Commercial Cultivars in the Southern Region of Gansu Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(19): 3834–3847.
- [16] 黄苗苗,孙振宇,曹世勤,等. 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[J]. 植物保护学报, 2018, 45(1): 90–100.
- HUANG Miaomiao, SUN Zhenyu, CAO Shiqin, et al. Evaluation of the resistance of 223 wheat landraces in Gansu Province to stripe rust and molecular detection[J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(1): 90–100.
- [17] 黄亮,刘太国,刘博,等. 我国 197 份小麦核心种质资源对小麦条锈菌新小种 CYR34 的抗性评价[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 148–154.
- HUANG Liang, LIU Taiguo, LIU Bo, et al. Resistance evaluation of 197 Chinese wheat core germplasms to a new stripe rust race, CYR34[J]. *Plant Protection*, 2019, 45(1): 148–154.
- [18] 白微微,高海峰,张航,等. 新疆主要小麦品种(系)中抗条锈病基因的分子检测[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(3): 497–504.
- BAI Weiwei, GAO Haifeng, ZHANG Hang, et al. Molecular Detection of Stripe Rust-Resistant Genes in Main Wheat Varieties (Lines) from Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(3): 497–504.
- [19] 覃祥安. 新疆小麦地方品种鉴定及利用研究[J]. 作物品种资源, 1992, 4(4): 9–11.
- QIN Xiang'an. Research about Evaluation and utilization of wheat landraces from Xinjiang[J]. *Crop Germplasm*, 1992, 4(4): 9–11.
- [20] 李继发,邓志英,孙福来,等. 小麦新品种“山农 20”抗病基因的分子检测[J]. 作物学报, 2014, 40(4): 611–621.
- LI Jifa, DENG Zhiying, SUN Fulai, et al. Resistance Genes of Wheat Variety Shannong 20 Identified by Diagnostic Molecular Markers[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(4): 611–621.
- [21] 张晓祥,王玲,寿路路. 一种快速提取小麦基因组 DNA 的改良 CTAB 方法[J]. 中国农学通报, 2012. 28(36): 46–49.
- ZHANG Xiaoxiang, WANG Ling, SHOU Lulu. A Rapid Modified CTAB Method of Extracting Genomic DNA from Wheat Leaf[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 40(4): 611–621.
- [22] Chen W Q, Wu L R, Liu T G, 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.
- [23] Fabre F, Rousseau E, Mailleret L, Moury B. Durable strategies to deploy plant resistance in agricultural landscapes[J]. *New Phytologist*, 2012, (193): 1064–1075.

Molecular Detection of Three *Yr* Genes in 153 Winter Wheat Varieties from Xinjiang

LU Zifeng¹, SHI Xiaolei¹, LI Yushan¹, CUI Yanhua², XIAN He²,
YAN Yongliang¹, ZHANG Jinbo¹, GAO Haifeng³, CONG Hua¹

(1. *Institute of Crop Germplasm Resources, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China*; 2. *Anningqu Comprehensive Experimental Field, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830012, China*; 3. *Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China*)

Abstract: **[Objective]** To clarify the distribution of stripe rust resistant genes *Yr 9*, *Yr 26* and *Yr Tp1* in 153 winter wheat varieties from Xinjiang with a view to providing theoretical basis for resistance breeding of Xinjiang winter wheat. **[Methods]** The SSR marker of stripe rust resistant genes, polymerase chain reaction and polyacrylamide Gel electrophoresis were used to detect whether the tested wheat varieties contain *Yr 9*, *Yr 26* and *Yr Tp1* genes. **[Results]** The percentage of 123 winter wheat landraces and 30 cultivars from Xinjiang that carried *Yr 9* was 78.86% and 63.33%, respectively; *Yr 26* was 95.12% and 73.33%, respectively; *Yr Tp1* was 88.62% and 60%, respectively; In 123 winter wheat landraces, we identified that all the three resistant genes in 87 varieties (70.73%), two resistant genes—the gene recombination types including *Yr 9 + Yr 26*, *Yr 9 + Yr Tp1*, *Yr 26 + Yr Tp1* — in 28 varieties (22.76%), only *Yr 9* in 1 variety, only *Yr 26* in 5 varieties; In 30 winter wheat cultivars, we detected all the three resistant genes in 15 varieties (50%), two resistant genes—the gene recombination types including *Yr 9 + Yr 26* and *Yr 26 + Yr Tp1* in 7 varieties (23.33%). **[Conclusion]** Above all, it is concluded that the winter wheat germplasm in Xinjiang carrying the *Yr* genes are abundant and these germplasms can be used as intermediate materials in disease resistant breeding.

Key words: winter wheat; wheat stripe rust; resistance genes; molecular detection

Fund project: Xinjiang Academy of Agricultural Sciences for Young Scientists Found(xjnkq-2016002); The National Natural Science Foundation of China(31660389); Urumqi Science and Technology Program Project(Z161210002)

Correspondence author: CONG Hua(1962-), female, Bole, Xinjiang, researcher, mainly engaged in wheat genetic and breeding, (E-mail) huacong0924@126.com