

## 国际小麦种质抗条锈性监测与评价

汪恒兴<sup>1</sup>, 张礼军<sup>2</sup>, 周刚<sup>2</sup>, 周洁<sup>2</sup>, 张文涛<sup>2</sup>, 白玉龙<sup>3</sup>, 白斌<sup>2</sup>,  
杨芳萍<sup>2</sup>, 郭莹<sup>2</sup>, 鲁清林<sup>2</sup>, 王小兵<sup>1</sup>

(1. 天水农业学校, 甘肃 清水 741400; 2. 甘肃省农业科学院小麦研究所, 甘肃 兰州 730070;  
3. 甘肃省农业科学院农业经济与信息研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 条锈病是威胁小麦生产安全的重要病害, 不断培育和种植抗病品种是最绿色、经济的防治措施。为了发掘新抗源, 2013—2023 年对 376 份国内外小麦种质进行了连续 10 a 的抗条锈病鉴定。结果显示, 表现抗病的材料有 88 份, 占供试材料的 23.404%。筛选出免疫及高抗材料 26 份、中抗材料 62 份、慢锈材料 192 份。在含已知抗锈基因的材料中, 携带有 *Yr3*、*Yr5*、*Yr15*、*YrZH22* 的材料表现为免疫和近免疫, 携带有 *Yr1*、*Yr2*、*Yr3a*、*Yr4a*、*Yr3b*、*Yr4b*、*YrDa1*、*YrDa2*、*Yr16*、*Yr13*、*Yr25*、*Yrsp*、*YrH46* 等多个或单个抗病基因的材料表现为中抗。表现免疫或高抗的材料可在条锈病抗病育种中进一步利用, 表现为慢锈型和抗性基因未知的材料需进一步根据农艺性状、抗源背景加以研究和利用。

**关键词:** 小麦; 条锈病; 抗病性; 评价

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)06-0574-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.06.017

## Evaluation of Stripe Rust Resistance in International Wheat Germplasms

WANG Hengxing<sup>1</sup>, ZHANG Lijun<sup>2</sup>, ZHOU Gang<sup>2</sup>, ZHOU Jie<sup>2</sup>, ZHANG Wentao<sup>2</sup>, BAI Yulong<sup>3</sup>,  
BAI Bin<sup>2</sup>, YANG Fangping<sup>2</sup>, GUO Ying<sup>2</sup>, LU Qinglin<sup>2</sup>, WANG Xiaobing<sup>1</sup>

(1. Tianshui Agricultural School, Qingshui Gansu 741400, China; 2. Wheat Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Institute of Agricultural Economics and Information, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** Stripe rust is an important disease that threatens the safety of wheat production. Breeding and planting resistant varieties are the environmental-friendly and economic ways to control the disease. In order to find the new resistance resources for wheat breeding against stripe rust, a total of 376 international wheat germplasms were identified for stripe rust resistance from 2013 to 2023. The results showed that 88 wheat varieties were resistant to stripe rust, accounting for 23.40% of the wheat varieties. 26 varieties were high to immune resistant to the disease, 62 varieties were moderate resistant, and 192 varieties were slow rusting to the disease. The varieties carrying resistance genes *Yr3*, *Yr5*, *Yr15* and *YrZH22* were near-immune to immune for stripe rust, while the varieties carrying multiple or single resistance genes (eg., *Yr1*, *Yr2*, *Yr3a*, *Yr4a*, *Yr3b*, *Yr4b*, *YrDa1*, *YrDa2*, *Yr16*, *Yr13*, *Yr25*, *Yrsp*, *YrH46*) were moderate resistant to stripe rust. The immune or high resistance varieties can be used as parents in future wheat breeding, while those varieties containing unknown resistance genes, as well as varieties with slow rusting, need to be further explored in wheat breeding based on their agronomics traits and resistance background.

**Key words:** Wheat; Stripe rust; Disease resistance; Evaluation

条锈病是我国小麦生产上最重要的病害, 该病是由条形柄锈菌(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)引起的世界范围内的真菌性病害<sup>[1-2]</sup>。甘肃陇南是我国小麦条锈菌生理小种的易变区和重要的越冬菌源基地, 也是我国该病的源头区域<sup>[3-4]</sup>。由于

锈菌的频繁变异和新致病小种的不断出现, 导致小麦抗病品种丧失抗性, 从而失去利用价值<sup>[5]</sup>。小麦条锈病 2020 年在全国的中度流行、2021 年在甘肃省冬小麦主要种植区的重度流行, 均给小麦生产造成了巨大损失<sup>[6]</sup>。控制小麦条锈病危害最

收稿日期: 2024-04-27

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1100501); 国家产业技术体系(CARS-03)。

作者简介: 汪恒兴(1970—), 男, 甘肃清水人, 高级讲师, 主要从事小麦育种与植物保护技术教学工作。Email: 1310498996@qq.com。

通信作者: 鲁清林(1963—), 男, 甘肃泾川人, 研究员, 主要从事小麦育种及相关研究工作。Email: luql6@126.com。

根本的措施是选育与应用抗锈品种, 但近年来许多育成品种抗病遗传背景单一, 品种抗病不持久, 极易因锈菌生理小种的变化而丧失抗性<sup>[7]</sup>。因此, 加强小麦种质资源抗条锈病鉴定与评价, 才能为抗条锈基因的挖掘及持久广谱抗病新品种的培育提供新抗源。

自 20 世纪以来, 中国从世界各地引进不同的种质资源, 并对其农艺性状、品质、抗逆和抗病等方面进行了深入研究, 培育出一批优良的小麦品种, 为小麦高产稳产做出了巨大贡献。周祥椿等<sup>[8]</sup>用条中 29 号、条中 31 号、条中 32 号、洛 13 III、水 3 及条中 33 号混合菌对国内外 6 118 份材料进行了持续 6 年的抗性鉴定, 筛选出 183 份抗性优良的材料。杜久元等<sup>[9]</sup>对 2 900 份国外种质资源及生产品种里勃留拉和 *N.Strampelli* 的抗条锈进行了多年连续鉴定, 筛选出条锈免疫材料 18 份、高抗材料 9 份。孙振宇等<sup>[10]</sup>对 1 226 份小麦品种(系)进行了小麦条锈菌分小种及混合菌系接种苗期及成株期抗病性鉴定, 筛选出成株期抗病材料 347 份, 其中全生育期表现抗病的材料 87 份。韩德俊等<sup>[11]</sup>对 1 980 份地方品种和国外种质资源进行连续 3 年成株期抗病性鉴定, 筛选出 8 份具有全生育期抗性和 42 份具有成株期抗性的小麦条锈病抗源。然而, 自 2010 年以来, 以条锈菌条中 34 号为代表的贵农 22 致病类群不断出现和积累, 造成重要抗源材料及生产品种贵农 22、南农 92R、Moro、川麦 42、兰天 17 号田间抗条锈性丧失, 导致生产及育种上抗条锈材料严重匮乏<sup>[7]</sup>。因此, 寻找抗条中 34 号和 G22-14 为代表的 G22 致病类群和抗条中 25 号、条中 29 号、条中 31 号、条中 32 号、条中 33 号等的新抗源, 是当前中国小麦抗病育种工作中亟待解决的任务。我们于 2013—2023 年对甘肃省农业科学院小麦研究所 1990 年以来引进的国内外 376 份抗源材料进行了多年田间成株期抗条锈鉴定, 以期进一步明确抗病特点, 筛选抗病种质资源材料, 为抗病育种提供可靠依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

376 份供试材料主要由甘肃省农业科学院小麦研究所于 1990 年前后引自国际玉米小麦改良中心

(CIMMYT)、美国华盛顿州立大学、墨西哥、英国、美国、意大利、法国、比利时、荷兰、德国、澳大利亚、加拿大、中国农业科学院植物保护研究所、河南省农业科学院、四川省农业科学院、周口市农业科学院等国内外育种机构, 其中国外已知抗锈基因载体品种(系)116 份、国外未知抗病基因品种(系)200 份、国内已知抗病基因载体品种(系)5 份、国内未知抗病基因品种(系)55 份。感病对照品种为辉县红。

### 1.2 试验地概况

试验设在水农业学校科研实训基地(N 34° 44' 36", E 106° 08' 55"), 海拔 1 413 m, 年均气温 8.5 °C, 年降水量 580 mm。该试验地为甘肃省农业科学院小麦研究所与天水农业学校长期合作的小麦抗锈育种基地, 基地内每年条锈病发生严重, 是进行小麦抗病性鉴定的理想试验基地。

### 1.3 供试菌种

供试菌种为条中 31 号、条中 32 号、条中 33 号和条中 34 号等的混合小种, 所有菌种由甘肃省农业科学院植物保护研究所提供。

### 1.4 试验方法

1.4.1 成株期田间诱发接菌鉴定 试验于 2013—2023 年每年 10 月上旬播种。随机区组排列, 每品种(系)播 3 行, 行长 1 m, 行距 20 cm, 垂直条播 1 行感病对照辉县红作为条锈病诱发行。翌年 4 月上中旬大部分小麦抽出旗叶时, 选择傍晚气温在 10 °C 左右时采用喷雾法进行混合菌接种: 将混合菌用 2~3 滴 5% 吐温 20 水溶液调成糊状, 每 2 g 孢子加水 1 000 mL 稀释成夏孢子悬浮液。喷雾前给对照品种辉县红浇水, 喷雾菌液后用塑料薄膜覆盖植株接种部位, 顺行用土压住保湿, 翌日上午 9 点揭去薄膜。6 月上旬, 感病品种(系)充分发病后记载侵染型、严重度(%)和普遍率(%)。

1.4.2 田间发病调查标准 成株期小麦品种抗条锈病评价依据 NY/T 1443.1—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》<sup>[12]</sup>。侵染型按 0、0<sub>1</sub>、1、2、3、4 等 6 级标准记载; 严重度按 1%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100% 等 8 级标准记载; 普遍率在田间目测按 0、5%、10%~100% 记载。抗病性评价为: 0 型, 为免疫(I); 0<sub>1</sub>, 为近免疫(NIM); 1 型,

为高抗类型(HR); 2 型, 为中抗类型(MR); 3~4 型且病情指数 $\leq 25\%$ , 为慢锈类型(SR); 3 型且病情指数 $>25\%$ , 为中感类型 (MS); 4 型且病情指数 $>25\%$ , 为感病类型(HS)。

## 2 结果与分析

### 2.1 成株期抗性

成株期抗性鉴定结果(图 1、表1)显示, 表现抗病的材料 88 份, 占 23.404%。其中免疫材料 7 份(1.862%)、高抗材料 19 份(5.053%)、中抗材料 62 份 (16.489%)。表现感病的材料 96 份, 占 25.532%, 其中中感 38 份 (10.106%)、高感 58 份 (15.426%)。表现为慢锈的材料有 192 份, 占 51.064%。

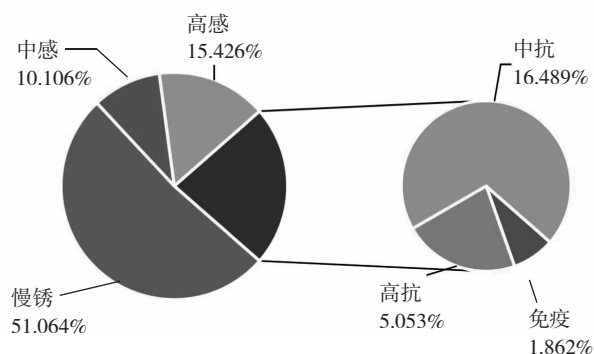


图 1 不同抗性类型材料分布

有 7 份材料连续 10 a 表现为免疫或近免疫, 分别是 *T. spelta album*、93 省(yr16)、AVS/6\*Yr15、08SE13、08SE17、中四、02-91-8-2 (yr5)。表现高抗的材料 19 份, 分别是 Compare、Dippes triumph、德国 2 号、Rendel vous/5、Armada、黑小燕 94-1、斯汤佩利、09SA115、08SE5、08SE38、OSUW8009、OSUW8023、GB16、WP3406、周麦 17、周麦 22、06CT43、CP93-18-9-1、MX8, 病情指数为 0.01~1.25, 平均 0.19。表现中抗的材料 62 份, 病情指数为 0.01~11.26, 平均 1.83。主要是来自美国俄勒冈大学(OSUW8032、OSUW8064、OSUW8068、OSUW8135 等 8 份)、墨西哥(MX30、MX13、MX21 等 8 份)、CIMMYT [DU-2、DU-4、MO(w)470]、法国(Vilmorn 27、Champlain、Flinor、Atou)、荷兰(Pagode)、德国(Ibis)、意大利(里勃留拉)、英国(Fenman)、陈贤明教授(TP1295、Dams、Hybrid46、Benno、Louise、Arminda、Hustler、Spaldings Prolifique、Winnetou、Top、Madsen、Mardler)提供的材料, 以及甘肃省农业科学院植物

保护研究所、中国农业科学院植物保护研究所、甘肃省农业科学院小麦研究所提供的 GB17、GB22、GB23、GB25、GB27、92 恢 94-12、小披 96-1、霍诺、CP93-10-2-1、CP93-12-12-1、CP93-36-17、CP93-12-10-1、Prophet、Bhcstan、Fvndrl-EA900、Armada、德国 8661、94 异 -15、Axminstar、08SE10、白大头、武都白茧和红挑头等。

表现慢锈的有 192 个品种(系), 病情指数为 0.49~35.66, 平均 9.6。主要有来自墨西哥的 MX 系列品种 44 份、美国俄勒冈大学的 OSUW 系列品种 13 份、来自 CIMMYT 持久抗性材料与 DU 系列品种(系)12 份, 以及来自英国(C591 高、C951 矮、Holdfast、Maris Widgon、Mega、Hobbit、Longbow、Norman)、法国(Vilmorn 23、Joss combair)、比利时(Gaby)、意大利(Aquila I)和甘肃省农业科学院植物保护研究所(斯燕 93-1、斯燕 94-1-4、咸农 4 号、GB12、GB14、GB18、GB19、GB21、GB24、GB26、N.D136、BY6、三属麦 1 号、三属麦 3 号、遗选 4212、宛抗 43)、中国农业科学院植物保护研究所 [CP93-34-10、CP93-8-11-2、CP93-8-13-1、CP93-10-1-1-1、CP20-3-3-4-1、CP20-30-2-1、CP20-35-1-2-1、CP01-39-3-1-2 Fs、CP02-9-1-4-3、CPO2-62-8-1-1-1、Yr6、Pistou、GRE/FB3、GRE/FB4、Parus、Piko、Galanap、Capltole、Yeoman、Huntsman、V.P.M(yr-17)]、陈贤明教授提供的部分国际材料 (RIL65、RIL68、RIL158、Talent、MarisFreeman、Leda、Sonalika、Jupitecor、Riebesel 47-51、Ciano 79、Rauermester (WA7939)、Maris Nimrod、C94.153、Flamingo、Manella、Lee、Brigand、Druchamp、Drca、Felix、Hill81、Maris Ranger、Maris Widgeon、Beeostajae、Fielder、Kin Sman、AVS/6\*Yr10、AVS/6\*Yr17、Yr26、Waggoner、Flevina、Gaines、Naulica、Kador、Baunty、Luke、Maris Huntssman、Eltan、Lambert、Avocet R、Virtue、Cleo、Alba、Express、Galahad、Chinese 166、Stephens、Joss Combier、Nord Despre I、Caribo、Yamhill、Liberator、Hobbit、Steeson)、中国农业科学院作物科学研究所(平原 50)、周口市农业科学院(周麦 12、周 8425B)、甘肃省农业科学院旱地农业研究所(陇鉴 110)、山东省农业科学

表 1 376 份小麦抗源材料成株期抗锈性鉴定

抗病类型	数量/份	病情指数范围	平均病情指数
免疫(I)	7	0	0
高抗(HR)	19	0.01~1.25	0.19
中抗(MR)	62	0.01~11.26	1.83
慢锈(SR)	192	0.49~35.66	9.60
中感(MS)	38	8.20~43.75	30.83
高感(HS)	58	18.47~93.00	56.47

院(山农 530070、山农 330355-1)、河南省农业科学院(郑 9023)和甘肃省农业科学院小麦研究所(红秃子、西农 1 号、鲁麦 22、综抗 58、矮抗 58、中国春、中墨 3 号、牧杂选系、08SE9、08SE26、08SE30、DORICO、weebill\*2/bvambling)。

表现中感的材料有 38 份, 病情指数为 8.20 ~

43.75, 平均 30.83。表现高感的材料有 58 份, 病情指数为 18.47 ~ 93.00, 平均 56.47, 其中 Suwon 92/2\*omar.s.s、CAO477、BY304、黑马 2 号、黑马 7 号、黑马 12 号、鲁麦 23、条感 601 和晋麦 47 连续 10 a 病情指数均在 80 以上。

## 2.2 含已知抗锈基因载体品种(系)的抗性表现

抗性鉴定结果见表 2、图 2。121 份含有抗条锈基因的品种(系)中, 表现高抗的材料 10 份, 占比 8.264%, 平均病情指数 0.16。其中 3 份材料表现为免疫, 分别是携带抗条锈基因 *Yr5* 的 *T.spelta album*、02-91-8-2(*yr5*)、AVS/6\**Yr15*, 其余 7 份分别是携带 *Yr15* 的 Dippes triumph、携带 *Yr8+Yr19* 的 Compare、携带 *Yr3a+Yr4a+Yr12* 的 Arma-

表 2 携带抗病基因载体品种(系)抗锈性鉴定

抗病类型	数量/份	病情指数范围	平均病情指数	已知基因	载体品种
高抗(HR)	10	0~0.73	0.16	<i>Yr5</i> 、 <i>Yr8</i> 、 <i>Yr19</i> 、 <i>Yr15</i> 、 <i>Yr3a</i> 、 <i>Yr4a</i> 、 <i>Yr12</i> 、 <i>Yr18</i> 、 <i>APR QTL</i> 、 <i>Yr3</i> 、 <i>Yr3b</i> 、 <i>Yr4b</i> 、 <i>YrZH22</i>	<i>T. spelta album</i> 、Compare、Dippes triumph、AVS/6* <i>Yr15</i> 、Armada、斯汤佩利、02-91-8-2( <i>yr5</i> )、WP3406、周麦 17、周麦 22
中抗(MR)	15	0.01~5.66	1.56	<i>Yr3a</i> 、 <i>Yr4a</i> 、 <i>Yr16</i> 、 <i>DR</i> 、 <i>Yr3</i> 、 <i>Yr1</i> 、 <i>Yr2</i> 、 <i>APR QTL</i> 、 <i>Yr25</i> 、 <i>YrDa1</i> 、 <i>YrDa2</i> 、 <i>Yr3b</i> 、 <i>Yr4b</i> 、 <i>YrH46</i> 、 <i>Yrsp</i> 、 <i>Yr12</i> 、 <i>Yr13</i> 、 <i>Yr17</i>	Vilmorn 27、Champlein、Flinor、Atou、Ibis、TP1295、Dams、Hybrid46、Arminda、Hustler、Spaldings Prolifique、Top、Madsen、Mardler、里勃留拉
慢锈(SR)	61	0.49~24.98	11.46	<i>Yr1</i> 、 <i>Yr2</i> 、 <i>Yr3</i> 、 <i>Yr3a</i> 、 <i>Yr3c</i> 、 <i>Yr4</i> 、 <i>Yr4a</i> 、 <i>Yr5</i> 、 <i>YrV23</i> 、 <i>Yr6</i> 、 <i>Yr7</i> 、 <i>Yr9</i> 、 <i>Yr10</i> 、 <i>Yr11</i> 、 <i>Yr12</i> 、 <i>Yr13</i> 、 <i>Yr14</i> 、 <i>Yr16</i> 、 <i>Yr17</i> 、 <i>Yr18</i> 、 <i>Yr20</i> 、 <i>Yr22</i> 、 <i>Yr23</i> 、 <i>Yr26</i> 、 <i>Yr27</i> 、 <i>Yr36</i> 、 <i>YrHVII</i> 、 <i>YrC591</i> 、 <i>DR</i> 、 <i>YrGaby</i> 、 <i>YrD</i> 、 <i>YrDru</i> 、 <i>YrCv</i> 、 <i>YrA</i> 、 <i>YrA1</i> 、 <i>YrA3</i> 、 <i>YrA4</i> 、 <i>YrA5</i> 、 <i>YrA6</i> 、 <i>YrA7</i> 、 <i>YrA8</i> 、 <i>Yrste</i> 、 <i>YrND</i> 、 <i>YrYam</i>	Vilmorn 23、 <i>Yr6</i> 、Joss combair、Mega、Hobbit、V.P.M ( <i>yr-17</i> )、C591 高、C591 矮、Holdfast、Maris Widgon、Gaby、Longbow、Norman、Fenman、RIL65、RIL68、RIL158、Talent、Maris freeman、Leda、Sonalka、Jupitecor、Riebesel 47-51、Ciano 79、Maris nimrod、C94.153、Fleming、Manella、Lee、Brigand、Druchamp、Drca、Armada、Felix、Maris Ranger、Maris Widgeon、Fielder、Kinsman、Steeson、AVS/6* <i>Yr10</i> 、AVS/6* <i>Yr17</i> 、 <i>Yr26</i> 、Waggoner、Flevina、Gaines、Naulica、Kador、Baunty、Luke、Maris Huntssman、Cleo、Express、Galahad、Chinese 166、Stephens、Joss Combier、Nord Despre I、Yamhill、Liberator、Hobbit、咸农 4 号
中感(MS)	17	8.2~43.75	30.83	<i>Yr27</i> 、 <i>Yr36</i> 、 <i>Yr9</i> 、 <i>YrCle</i> 、 <i>Yr3b</i> 、 <i>Yr4b</i> 、 <i>Yr14</i> 、 <i>Yr3a</i> 、 <i>YrA1</i> 、 <i>YrA2</i> 、 <i>Yr8</i> 、 <i>Yr18</i> 、 <i>Yr2</i> 、 <i>Yr6</i> 、 <i>Yr7</i> 、 <i>YrTr1</i> 、 <i>YrTr2</i> 、 <i>Yr24</i> 、 <i>YrCV1</i> 、 <i>YrCV2</i> 、 <i>YrCV3</i> 、 <i>YrPr1</i> 、 <i>YrPr2</i> 、 <i>Yr29</i> 、 <i>Yr25</i> 、 <i>YrHVII</i>	Selkrik、RIL28、Clement、Avalon、Bon Fermier、Nugaines、Alpowa、AVS/6* <i>Yr8</i> 、 <i>Yr8</i> 、 <i>Yr24</i> 、Hardi、Tres、Heines peko、Carstens V、Pradura、Lai Bahadur/Pavon Bline、Heines VII
高感(HS)	18	27.96~93.2	51.79	<i>YrMor</i> 、 <i>Yr17</i> 、 <i>Yr18</i> 、 <i>Yr1</i> 、 <i>Yr6</i> 、 <i>Yr7</i> 、 <i>Yr9</i> 、 <i>Yr10</i> 、 <i>Yr25</i> 、 <i>YrPa1</i> 、 <i>YrPa2</i> 、 <i>YrPa3</i> 、 <i>YrHK</i> 、 <i>Yr39</i> 、 <i>YrSp</i> 、 <i>Yr26</i> 、 <i>Yr27</i> 、 <i>Yr2</i> 、 <i>Yr21</i> 、 <i>Yr17</i> 、 <i>YrTye</i> 、 <i>YrA</i>	Moro、V.P.M1/4*cook、Reichersberg42、TP981、Suwon92/2*omar.s.s、Heines Kolben、 <i>Yr27</i> 、YRSP、AVS/6* <i>Yr1</i> 、AVS/6* <i>Yr7</i> 、AVS/6* <i>Yr9</i> 、Linek55、Tadorna、Lemhi、Hyak、Lina 66、贵农 21、贵农 22

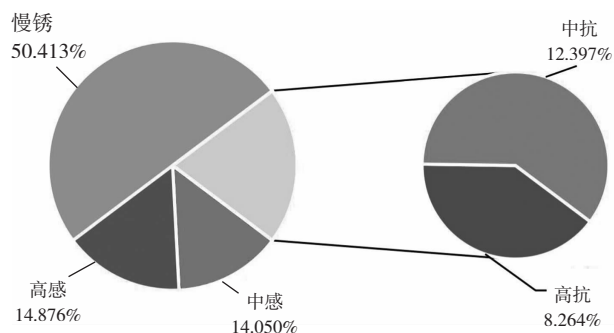


图 2 已知抗病基因载体品种(系)不同抗类型分布

da、携带 *Yr18+APR* QTL 的斯汤佩利、携带 *Yr3* 的 WP3406、携带 *Yr3b+Yr4b* 的周麦 17 及携带 *YrZH22* 的周麦 22。表现中抗的材料 15 份，占比 12.397%，平均病情指数 1.56。分别是携带 *Yr3a+Yr4a+Yr16* 的 Vilmorn 27、Champlein、Atou，携带 *DR* 的 Flinor，携带 *Yr1+Yr2+APR* QTL 的 Ibis，携带 *Yr25* 的 TP1295，携带 *YrDa1+YrDa2* 的 Dams，携带 *Yr3b+Yr4b+YrH46* 的 Hybrid46，携带 *Yr3a+Yr4a+Yr12* 的 Arminda，携带 *Yr1+Yr2+Yr3a+Yr4a+Yr13* 的 Hustler 和 Mardler，携带 *Yrsp* 的 Spaldings Prolifique，携带 *Yr3a+Yr4a* 的 Top，携带 *Yr17* 的 Madsen，携带 *Yr3* 的里勃留拉。表现为慢锈的材料有 61 份，占比 50.413%，平均病情指数 10.9。多数材料携带 2 个及以上已知基因，如 Nord Despre I (*Yr3+YrND*)、Mega(*Yr3a+Yr4a+Yr12*)、Maris Widgon (*Yr3a+Yr4a+Yr16*)、Hobbit (*Yr3a+Yr4a+Yr14+YrHVII*)、Druchamp(*Yr3a+YrD+YrDru+YrA5+YrA6*) 和 Stephens (*Yr3a+Yr5+Yrste+YrA7+YrA8*) 等。表现为中感的材料 17 份，占比 14.050%，平均病情指数 30.83；表现为高感的材料 18 份，占比 14.876%，平均病情指数 51.79。

### 3 讨论与结论

长期进行小麦种质资源抗病性监测对抗病基因的布局及病害流行预测具有重要意义<sup>[13]</sup>。对国内外 376 份抗源材料长达 10 年抗病性鉴定的结果表明，表现抗病的材料 88 个，占鉴定材料的 23.404%，其中免疫及高抗材料 26 份、中抗材料 62 份。*T. spelta album*、08SE13、08SE17、AVS/6\**Yr15* 等 7 份免疫或近免疫材料可根据其农艺性状直接或间接用于小麦抗病育种中。部分材料(94异-15、OSUW8135、Spaldings Prolifique、Hybrid46、Hustler、CP93-12-10-1、德国 8661、Mardler、

GB23、Axminstar、红挑头、Dams、Benno、Prophet、OSUW8068、小披 96-1、Champlein 等)在前几年田间抗病性表现为免疫或近免疫，2018 年后反应型逐步表现为 2 型或 3 型，严重度达到 25%，整体表现为中抗或慢锈型，表明这部分材料将逐步丧失抗性，这可能与小麦条锈菌生理小种条中 34 号的流行有关<sup>[14-16]</sup>。这部分材料应持续加强后续监测，提早进行品种合理布局和必要的更替。

在含已知抗锈基因材料中，携带有 *Yr3*、*Yr5*、*Yr10*、*YrZH22* 的材料表现为免疫和近免疫，携带有 *Yr1*、*Yr2*、*Yr3a*、*Yr4a*、*Yr3b*、*Yr4b*、*YrDa1*、*YrDa2*、*Yr16*、*Yr13*、*Yr25*、*Yrsp*、*YrH46* 等多个或单个抗病基因的材料表现为高抗。李式昭等<sup>[17]</sup>发现，*Yr5* 和 *Yr15* 对四川优势条锈病混合菌系一直持续表现抗性，是四川省有效的抗病基因。本研究中，成株期表现免疫和近免疫的品种携带有抗条锈基因 *Yr5* 和 *Yr15*。*Yr5* 和 *Yr15* 基因分别来源于斯卑尔脱小麦 *T. spelta album* 和四倍体野生二粒小麦 *T. turgidum dicoccoides*，位于 2BL 和 1BS 染色体，但其在国内小麦抗病育种中却未被广泛应用<sup>[18]</sup>。将这些抗条锈基因转移到丰产品种中去，利于提高丰产品种抗条锈基因的丰富度，是解决当前由条中 34 号造成品种抗性丧失的一条途径。目前，仍有大部分抗性材料的抗性基因等信息未知，还需结合基因推导等手段对当前抗性资源的抗源背景进行进一步研究利用。

多抗源材料抽穗期晚，与早熟品种或骨干亲本花期不遇，难以组配杂交组合，即使成功组配，也可能因  $F_2$  表现贪青晚熟、综合性状表现不突出、配合力差等原因导致难以选择。因此，在选配组合时应加大选配组合的概率，在  $F_1$  进行回交或复交，加大农艺性状的改造，并对  $F_3$  株系进行有目的改造，有助于创造综合农艺性状初步改良的中间材料并缩短育种年限。

抗病品种的推广应用是防治小麦条锈病的有效手段，大面积推广单一免疫品种可能会加快小麦条锈菌生理小种的变异，进而造成病害的大流行。在抗源材料的应用中，多数利用的是一些免疫和近免疫的材料，但抗锈机制十分复杂，抗锈性还应包括慢锈性、持久抗性、温敏抗性、高温抗性、耐锈性等<sup>[8]</sup>。本试验中，表现慢锈的材料

有 192 个品种 (系), 这部分材料虽然属中感或感病反应型, 但病情指数始终稳定在很低的水平, 也有很好的抗锈性。对这类材料应该重视其研究和利用价值, 应用到抗锈育种中, 提高品种的多抗性。

#### 参考文献:

- [1] 刘志勇, 张怀志, 白 斌, 等. 中国小麦抗条锈病基因育种利用现状与策略[J]. 中国农业科学, 2024, 57(1): 34-51.
- [2] 杨芳萍, 曹世勤, 郭 莹, 等. 小麦条锈病抗性基因定位及分子标记技术研究进展[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(1): 1-10.
- [3] 陈万权, 康振生, 马占鸿, 等. 中国小麦条锈病综合治理理论与实践[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4254-4262.
- [4] LIANG J, LIU X, TSUI CKM, et al. Genetic structure and asymmetric migration of wheat stripe rust pathogen in western epidemic areas of China[J]. *Phytopathology*, 2021, 11(7): 1252-1260.
- [5] 韩德俊, 王琪琳, 张 立, 等. “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[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2889-2896.
- [6] 孙振宇, 黄 瑾, 张 勃, 等. 甘肃省冬麦区 2021 年春季小麦条锈病发生情况调查[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(7): 60-63.
- [7] 白 斌, 张怀志, 杜久元, 等. 西北条锈菌源区冬小麦育种抗条锈病基因的利用现状与策略[J]. 中国农业科学, 2024, 57(1): 4-17.
- [8] 周祥椿, 杜久元, 鲁清林. 小麦条锈病抗源材料筛选和抗条锈基因库组建研究[J]. 麦类作物学报, 2005(1): 6-12.
- [9] 杜久元, 鲁清林, 周 刚. 引进国外小麦种质资源抗条锈性鉴定及其利用价值评价[J]. 植物保护, 2006(1): 83-85.
- [10] 孙振宇, 曹世勤, 贾秋珍, 等. 2012—2014 年小麦品种 (系) 抗条锈性鉴定结果[J]. 甘肃农业科技, 2015(8): 33-35.
- [11] 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.
- [12] 中华人民共和国农业部, 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: NY/T 1443.1—2007[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2007.
- [13] 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.
- [14] 陈建雄, 严浩浩, 曹世勤, 等. 62 份甘肃小麦品种 (系) 抗条锈性评价及抗病基因检测[J]. 植物病理学报, 2023, 53(5): 881-889.
- [15] 刘 博, 刘天国, 章振羽, 等. 中国小麦条锈菌条中 34 号的发现及其致病特性[J]. 植物病理学报, 2017, 47(5): 681-687.
- [16] 贾秋珍, 曹世勤, 王晓明, 等. 2017 年—2018 年甘肃省小麦条锈菌生理小种变异监测[J]. 植物保护, 2021, 47(2): 214-218; 232.
- [17] 李式昭, 杨漫宇, 涂 洋, 等. 利用小麦抗条锈病近等基因系对四川条锈病变化进行抗性监测及分析[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(6): 1008-1014.
- [18] 曾庆东, 沈 川, 袁凤平, 等. 小麦抗条锈病已知基因对中国当前流行小种的有效性分析[J]. 植物病理学报, 2015, 45(6): 641-650.