

## 甘肃省小麦品种叶锈病抗性鉴定及评价

黄瑾<sup>1,2,3</sup>, 曹世勤<sup>2,3,4</sup>, 孙振宇<sup>1,2,3</sup>, 张勃<sup>1,2,3</sup>, 贾秋珍<sup>1,2,3</sup>, 骆惠生<sup>1,2,3</sup>, 金社林<sup>1,2,3</sup>

(1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业农村部天水作物有害生物科学观测实验站, 甘肃 甘谷 741200; 3. 国家植物保护甘谷观测实验站, 甘肃 甘谷 741200; 4. 甘肃省农业科学院小麦研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 小麦叶锈病是由专性寄生菌 (*Puccinia triticina*)引起的主要小麦病害之一。选育并种植抗病品种是防控小麦叶锈病最经济、有效和安全的方法。为了掌握甘肃省小麦品种的抗叶锈特点, 为全省小麦抗叶锈病育种、品种合理布局以及小麦锈病的综合治理提供参考依据。2016—2017年度和2017—2018年度对1013份甘肃省小麦生产品种、高代材料、后备品种及抗源等不同小麦材料和33份甘肃省主栽小麦品种采用苗期室内接种和成株期田间接种的方法进行抗叶锈病性鉴定。结果表明, 小麦种质资源中, 苗期表现抗病的材料有301份, 分布频率为31.19%; 成株期表现抗病的材料380份, 分布频率为44.92%。另外, 筛选出10份全生育期抗叶锈病的材料, 即2006-1-4-1-4-2-7-1-1-8、小黑麦CM-12、010-61-3-1-1、02-129-2-1-1-3-2-1、0439-6-5-1-1-1-2-1、9629-03A-3-2-1-1、09-104-1-3-1-1、01-29-7-1-1-2-1-3、SW-14和陇麦491。甘肃省主栽品种中, 苗期表现抗病的有5份, 分别为兰天22号、天选43号、天选67号、天选72号和中梁38号, 分布频率为15.15%; 成株期表现抗病的有12份, 分别为陇中5号、天选46号和天选48号等, 分布频率为36.36%。其中, 中梁38号、天选67号和天选72号在全生育期表现出近免疫-中抗, 未检测出对供试混合菌表现免疫的品种; 此研究可为抗叶锈病鉴定材料在小麦育种中应用提供依据。

**关键词:** 小麦叶锈病; 品种(系); 抗病性鉴定; 甘肃省

**中图分类号:** S512.1; S435.121 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2023)10-0941-06

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.10.011

## Identification and Evaluation of Resistance to Leaf Rust for Wheat Varieties (Lines) in Gansu

HUANG Jin<sup>1,2,3</sup>, CAO Shiqin<sup>2,3,4</sup>, SUN Zhenyu<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Bo<sup>1,2,3</sup>, JIA Qiuzhen<sup>1,2,3</sup>,  
LUO Huisheng<sup>1,2,3</sup>, JIN Shelin<sup>1,2,3</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Tianshui, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Gangu Gansu 741200, China; 3. National Agricultural Experimental Station for Plant Protection at Gangu, Gangu Gansu 741200, China; 4. Wheat Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** Wheat leaf rust, which is caused by the *Puccinia triticina*, is one of the major diseases in wheat production. Breeding and planting disease-resistant varieties is the most economical, effective, and safe method for preventing and controlling wheat leaf rust. In order to evaluate the resistance of wheat varieties to leaf rust, we collected 1013 wheat materials and 33 main cultivars in Gansu Province, which was identified for resistance to leaf rust through indoor inoculation at seedling stage from 2016 to 2017 and field inoculation at adult stage from 2017 to 2018. The results showed that 301 out of 1013 wheat varieties (lines) showed resistance to leaf rust at seedling stage with the frequency of 31.19%. There were 380 materials that showed resistance at the adult stage with frequency of 44.92%. On the other hand, 10 wheat materials were selected, including 2006-1-4-1-4-2-7-1-1-8, triticale CM-12, 010-61-3-1, 02-129-2-1-1-3-2-1, 0439-6-5-1-1-1-2-1, 9629-03A-3-2-1-1, 09-104-1-3-1-1, 01-29-7-1-1-2-1-3, SW-14 and Longmai 491, which had immunity or high resistance to leaf rust during the whole growth period. Among 36 main cultivars in Gansu Province, five varieties showed resistances at the seedling stage with the frequency of 15.15%, which were Lantian 22, Tianxuan 43, Tianxuan 67, Tianxuan 72 and Zhongliang 38. Twelve varieties, including Longzhong 5, Tianxuan 46

收稿日期: 2023-05-15; 修订日期: 2023-08-22

基金项目: 国家自然科学基金地区基金(31860476、31560488); 国家重点研发计划(2021YFD140100504); 甘肃省农业科学院农业科技创新专项(2016GAAS43、2017GAAS100); 甘肃省拔尖人才计划(2020-17)。

作者简介: 黄瑾(1983—), 女, 甘肃永昌人, 副研究员, 主要从事麦类作物病害的研究工作。Email: huangjin8311@163.com。

通信作者: 金社林(1965—), 男, 陕西武功人, 研究员, 主要从事禾谷类作物病害防控研究工作。Email: shelin\_jin@gasgr.ac.cn。

and Tianxuan 48, etc., were resistant to leaf rust at adult stage with frequency of 36.36%. Three varieties including Zhongliang 38, Tianxuan 67 and Tianxuan 72 showed medium to high resistance during the growth period, and no cultivars was immune to the mixed Leaf rust tested. This result can provide guide for breeding application of the materials and cultivars identified.

**Key words:** Wheat leaf rust disease; Varieties (lines); Identification of resistance to leaf rust; Gansu Province

小麦叶锈病是一种由专性寄生菌(*Puccinia triticina*)引起的重要病害,分布范围广,在世界小麦种植区域均有发生。该病主要危害小麦叶片,影响叶片光合作用,导致产量减产 5%~15%,大流行年份产量损失可达 40%<sup>[1-2]</sup>。在我国,小麦叶锈病一直是重要的病害,特别是在河北、山西、内蒙古、河南、山东、山西、贵州、云南、黑龙江、吉林等地。过去几十年间,小麦叶锈病曾多次在我国大规模流行,特别是 1969、1973、1975、1979 年的大流行,减产严重,带来巨大的经济损失<sup>[3]</sup>。近年来,我国西南、西北、华北和东北以及长江、黄淮海流域叶锈病发生逐渐严重起来。2009、2010、2012 年在贵州、甘肃、山东、河南、河北、内蒙古、西藏和新疆地区发生中度以上流行,造成了严重的经济损失<sup>[4]</sup>。2013 年,山东、河南和新疆局部地区叶锈病发生严重。2015—2016 年,黄淮麦区黄淮海地区发生大流行。2015 年,小麦叶锈病的发生时间较往年提前了近一个月,河南、安徽等地最为严重<sup>[5]</sup>。甘肃小麦叶锈病的发生情况也随之变化。过去,小麦叶锈病一直被视为次要病害,但近几年发生普遍,个别年份严重发生。2012 年,陇南市、天水市、平凉市、庆阳市、定西市小麦叶锈病为中度偏重发生,局部地区大发生,总发病面积达 52 万 hm<sup>2</sup>,占播种面积的 70%以上,发病严重田块产量损失超过 20%<sup>[6]</sup>。到了 2015 年,叶锈病在甘肃陇南麦区和中部麦区的一些区域仍然普遍发生。

小麦叶锈病的流行受种植品种的抗性、病原菌、气候条件等因素的影响。抗病品种长期的单一化种植易导致小麦叶锈病大流行。随着病原菌群体的毒性变异不断累积,单一抗病品种的大规模种植导致抗病基因对病原菌群体的毒性基因产生了选择压力,当气候条件适宜,抗病品种的抗病能力逐渐减弱,甚至丧失。因此,抗病品种的合理布局与抗病新品种的培育对防治小麦叶锈病以及保证粮食安全至关重要。近年来利用基因推导和标记检测对大量国内外小麦材料进行了苗期

及成株期抗叶锈性鉴定,陈万权等<sup>[7]</sup>在 40 个供试品种中鉴定出 21 个具有良好抗性的品种;刘太国等<sup>[8]</sup>于 1999—2014 年对 1 815 份国家小麦区域试验品种(系)进行抗病性评价,发现抗叶锈病品种比例仅为 9.9%±3.8%,感病品种高达 70.4%±15.1%;闫晓翠等<sup>[9]</sup>、郑慧敏等<sup>[10]</sup>、Gao 等<sup>[11]</sup>和 Gebrewahid 等<sup>[12-13]</sup>分别对来自陕西、贵州、湖北、四川、江苏、安徽、宁夏等地的 199 个国内小麦品种及引进国外的 130 个小麦品种进行了苗期和成株期抗叶锈性鉴定,共鉴定出 *Lr1*、*Lr3*、*Lr9*、*Lr10*、*Lr26* 和 *Lr34* 等 39 个基因,为这些品种的有效利用奠定了基础。虽然有关小麦品种对小麦叶锈病苗期和成株期的抗性已有较多报道,但对甘肃省小麦高代品系、小麦后备材料、抗源以及主栽品种等不同小麦材料的抗叶锈病鉴定的相关研究报道较少。因此,我们于 2016—2017 年度和 2017—2018 年度共收集 1 013 份小麦不同类型材料和 33 份甘肃省主栽小麦品种进行苗期和成株期抗叶锈病性鉴定和抗性评价,以期掌握甘肃省小麦品种的抗叶锈特点,为全省小麦叶锈病抗病育种、品种合理布局以及小麦锈病的综合治理提供重要参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试小麦包括甘肃历史生产品种、高代材料、后备品种和抗源等种质资源共 1 013 份及甘肃主栽小麦品种 33 份,以感病材料铭贤 169 为对照,分别由天水市农业科学研究所甘谷试验站、甘肃省农业科学院旱地农业研究所、甘肃省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、陇南市农业科学研究所、陇东学院、定西市农业科学研究所、静宁县农业技术推广中心、平凉市农业科学院和临夏州农业科学院等提供。

供试菌种为小麦叶锈菌新鲜混合菌种(包括主要流行小种 THTP、THTT、TKTT 和 THTS 等),均由甘肃省农业科学院植物保护研究所提供。

## 1.2 试验内容与方法

1.2.1 苗期抗叶锈性鉴定 2016年和2017年在甘肃省农业科学院植物保护研究所兰州温室分别将供试小麦材料553、460份和甘肃主栽小麦品种33份按一定次序种植于直径为9 cm的花盆中,每品种播种7~15粒。待小麦幼苗第1叶片完全展开时,采用夏孢子悬浮液喷雾法进行接种,置于(20±5)℃下黑暗保湿24 h后,移入温度为15~28℃的温室内常规培养。接种后12~14 d,待感病对照充分发病后,按照中华人民共和国农业行业标准(NY/T1443.1—2007)《小麦抗病虫害性评价技术规范第2部分:小麦抗叶锈病评价技术规范》中描述的方法记载侵染型、严重度和普遍率<sup>[14]</sup>。因缺苗导致实际材料数少于总材料数,2016—2017年度实际材料533份,2017—2018年度实际材料432份。

1.2.2 成株期抗叶锈性鉴定 成株期抗叶锈性鉴定分别于2016—2017年度和2017—2018年度在甘肃省农业科学院植物保护研究所甘谷试验站进行。于2016年10月中旬和2017年10月中旬分别将供试小麦材料553、460份及甘肃主栽小麦品种33份点播于试验大田,行长1.8 m,每行10个品种(系),每个品种30粒左右,每品种(系)穴播间距20 cm,行间距30 cm,四周设保护行。翌年5月初小麦拔节期,选择天晴无风的傍晚,采用夏孢子悬浮液喷雾法接种,1 g加水1 000 mL,制成1 g/kg的孢子悬浮液(含1 g/kg吐温80)进行喷雾接种,保湿14 h。待小麦到乳熟期,按照中华人民共和国农业行业标准(NY/T1443.1—2007)《小麦抗病虫害性评价技术规范第2部分:小麦抗叶锈病评价技术规范》中描述的方法进行记载,感病对照品种铭贤169严重度达到60%时,分别记载各品种

侵染型(IT)、严重度(S)和普遍率(P)<sup>[14]</sup>。侵染型记载采用0、0;、1、2、3、4共6级标准进行,其中0~2级为抗病(R),3~4级为感病(S)。严重度记载采用0%、1%、5%、10%、25%、40%、60%、80%、100%共9级标准进行。普遍率用病叶数占总叶片数的百分比表示。因缺苗导致实际材料数少于总材料数,2016—2017年度实际材料446份,2017—2018年度实际材料400份。

1.2.3 小麦主栽品种抗叶锈病评价 为明确甘肃省小麦主栽品种的抗叶锈性特点,根据以上鉴定结果,于2017—2018年度对33份供试小麦主栽品种进行抗叶锈性评价,分别用高感(HS);中感(MS);中抗(MR);高抗(HR);近免疫(NIM)和免疫(I)表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 甘肃小麦种质资源的抗叶锈病性鉴定

从表1可以看出,2 a合计苗期表现抗病的材料有301份,占实际出苗数的31.19%;感病材料有664份,占实际出苗数的68.81%;成株期表现抗病的材料380份,占实际出苗数的44.92%;感病材料有466份,占实际出苗数的55.08%。从鉴定结果可以看出,供试小麦叶锈菌对供试小麦生产品种、高代材料及抗源材料致病性范围宽,致病性强。

对1 013份小麦生产品种、高代材料及抗源材料进行苗期和成株期抗叶锈特点综合分析,筛选出2006-1-4-1-4-2-7-1-1-8、小黑麦CM-12、010-61-3-1-1、02-129-2-1-1-3-2-1、0439-6-5-1-1-1-1-2-1、9629-03A-3-2-1-1、09-104-1-3-1-1、01-29-7-1-1-2-1-3、SW-14、陇麦491等10份全生育期抗性优异的小麦材料,为全省今后的抗叶锈育种及品种布局提供理论依据。

表1 小麦生产品种、高代材料及抗源材料的抗叶锈病性鉴定结果<sup>①</sup>

年度	鉴定时期	材料数/份		抗病		感病	
		播种	出苗	数量/份	比率/%	数量/份	比率/%
2016—2017	苗期	553	533	231	43.34	302	56.66
2017—2018	苗期	460	432	70	16.20	362	83.80
2016—2017	成株期	553	446	298	66.82	148	33.18
2017—2018	成株期	460	400	82	20.50	318	79.50

①表中比率为抗病和感病材料占实际出苗的百分比。

2.2 甘肃省小麦主栽品种抗叶锈病鉴定及评价

从表 2 可知, 苗期抗叶锈鉴定中, 有 5 个品种表现为近免疫 - 中抗, 分别为兰天 22 号、天选 43 号、天选 67 号、天选 72 号和中梁 38 号, 占总供试品种的 15.15%; 其余 28 个品种均表现为中感 - 高感, 占 84.85%。成株期抗叶锈鉴定中, 表现近免疫 - 中抗的有 12 个品种, 分别为陇中 5 号、天选 46 号、天选 67 号、天选 71 号、天选 72 号、天选 73 号、兰天 13 号、兰天 30 号、兰天 33

号、中梁 34 号、中梁 36 号、中梁 38 号, 占 36.36%; 其余 21 个品种均表现为中感 - 高感, 占 63.64%。在全生育期表现抗病的品种仅有 3 个, 为中梁 38 号、天选 67 号和天选 72 号。

3 讨论与结论

甘肃省是我国小麦面积超过 66.7 万  $hm^2$  的 11 个省份之一, 70% 以上的小麦在旱地种植<sup>[15]</sup>。由于甘肃自然条件特殊, 可实现小麦条锈菌周年循环, 并为我国小麦条锈病的发生及流行源源不断

表 2 2017—2018 年度甘肃省小麦主栽品种抗叶锈病的评价

品种	来源	苗期		成株期	
		抗病性	IT/S/P	抗病性	IT/S/P
陇鉴19	甘肃省农业科学院旱地农业研究所	HS	3/60/100	MS	3/100/100
陇鉴294	甘肃省农业科学院旱地农业研究所	HS	3/40/100	MS	3/40/100
陇中5号	甘肃省农业科学院旱地农业研究所	MS	3/40/100	MR	2/10/100
陇春23号	甘肃省农业科学院作物研究所	HS	4/60/100	MS	3/40/100
陇春26号	甘肃省农业科学院作物研究所	MS	3/20/100	HS	4/40/100
兰天13号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/40/100	HR	1/10/90
兰天17号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/60/100	MS	3/40/100
兰天21号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/80/100	MS	3/20/100
兰天22号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MR	2/20/100	HS	4/60/100
兰天26号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/60/100	MS	3/40/100
兰天30号	甘肃省农业科学院小麦研究所	HS	3/10/100	HR	1/10/80
兰天33号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/40/100	HR	1/10/80
兰天49号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/60/100	MS	3/40/100
兰天44号	甘肃省农业科学院小麦研究所	MS	3/80/100	MS	3/40/100
天选43号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	HR	1/20/100	HS	4/40/100
天选46号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/40/100	HR	1/10/90
天选60号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/40/80	MS	3/60/100
天选67号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MR	2/20/100	NIM	0;5/80
天选68号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/60/100	MS	3/40/100
天选71号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	HS	3/60/100	MR	2/80/100
天选72号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MR	2/60/100	HR	0;-1/100/100
天选73号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/40/100	MR	2/80/100
中梁34号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	HS	4/20/100	HR	1/60/100
中梁36号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/40/60	HR	1/10/60
中梁37号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	MS	3/60/80	HS	4/40/60
中梁38号	天水市农业科学研究所甘谷试验站	HR	0;-1/5/80	MR	2/40/100
定西32号	定西市旱作农业科研推广中心	HS	3/10/40	HS	4/60/100
临麦38号	临夏回族自治州农业科学研究所	MS	3/40/80	MS	3/40/100
会宁20号	会宁县农农业科学研究所	MS	3/20/100	MS	3/40/100
陇育4号	陇东学院	MS	3/40/100	MS	3/40/100
陇育10号	陇东学院	HS	4/60/100	MS	3/80/100
陇育12号	陇东学院	MS	3/60/80	HS	4/40/100
陇育14号	陇东学院	HS	3/60/100	HS	3/40/100

地提供菌源<sup>[16]</sup>, 因此, 抗小麦条锈病育种一直是甘肃省小麦育种的重要方向。近年来, 叶锈病在甘肃省的发生普遍, 严重时往往两种锈病混合发生, 因此, 及时掌握甘肃省小麦品种抗叶锈病特点, 将对该区域小麦锈病的综合治理提供可靠依据。

随着全球性气候变暖, 未来的温度和湿度条件可能会更加适合小麦叶锈病的发生和流行<sup>[17]</sup>。而选育和利用抗病品种亦是控制小麦叶锈病最经济、有效且对环境安全的重要措施。由于缺乏有效的抗病品种, 适宜气候条件将极易造成小麦叶锈病的严重发生。2012—2014 年, 孙振宇等<sup>[18]</sup>对甘肃省内外 1 226 份小麦品种(系)进行小麦条锈菌鉴定, 筛选出了 04-57-2、99165、兰天 092、天 02-195-7 等一批可供育种及生产使用的小麦抗源材料。2017—2020 年, 王万军等<sup>[19]</sup>在甘肃陇南对国家区试冬小麦品种进行了田间抗条锈病性评价, 筛选出 WJ18-1 等 19 个品种 3 a 均表现抗病, 且抗性表现稳定的品种。阎晓涛等<sup>[20]</sup>对 57 份小麦微核心种质进行了条锈病和叶锈病成株期抗性评价, 筛选出叶锈病成株抗性的材料 27 份。朱瑜等<sup>[21]</sup>通过苗期和成株期鉴定分析了 40 份国内小麦材料所含有的抗叶锈病基因。黄瑾等<sup>[22]</sup>对甘肃省 36 个小麦生产品种进行了抗叶锈病基因分析及成株期抗叶锈性评价, 发现陇原 931、陇鉴 9343、天选 57 号、天选 67 号、兰天 31 号、临麦 22 号、兰天 134、兰天 151、陇鉴 113、陇麦 838 和中梁 35 号具有较好的成株期抗叶锈性。

本研究在 2016—2017 年度和 2017—2018 年度对甘肃省内外收集的 1 013 份小麦后备品种、高代材料及抗源材料进行苗期和成株期抗叶锈病性鉴定, 发现苗期表现抗病的材料占实际出苗数的 31.19%; 感病材料占实际出苗数的 68.81%; 成株期表现抗病的材料占实际出苗数的 44.92%; 感病材料占实际出苗数的 55.08%; 通过全生育期抗叶锈特点综合分析, 筛选出 2006-1-4-1-4-2-7-1-1-8、小黑麦 CM-12、010-61-3-1-1、02-129-2-1-1-3-2-1、0439-6-5-1-1-1-2-1、9629-03A-3-2-1-1、09-104-1-3-1-1、01-29-7-1-1-2-1-3、SW-14 和陇麦 491 等 10 份抗性优异的小麦材料。2017—2018 年度对 33 份甘肃省小麦主栽品种

(系)进行抗叶锈性评价, 仅有中梁 38 号、天选 67 号和天选 72 号在全生育期表现较好的抗叶锈性; 其余 30 份品种(系)均表现不同程度感病, 供试的主栽品种中抗小麦叶锈病的品种占比较少。本研究结果与刘太国等<sup>[8]</sup>的研究一致, 因为小麦叶锈病发生、流行速率和造成的损失相比小麦条锈病等病害要轻得多, 很多地方尤其在甘肃小麦抗叶锈病并不是育种家的育种目标, 因此, 生产上缺乏对小麦叶锈病抗性优异的品种, 由于气象因素适宜与实际田间缺乏叶锈病抗病品种, 导致小麦叶锈病发生日趋严重。另外, 因为近年来叶锈病的普遍发生, 育种单位在品种选育的过程中, 选育综合抗锈性品种的比例也逐渐提高, 试验结果表明, 在小麦后备品种、高代材料中, 缺乏表现抗性优异的品种, 但主栽品种中仅有 3 份小麦品种表现抗病, 说明主栽品种中抗叶锈材料缺乏, 发掘抗叶锈资源势在必行。

同时, 在天气条件有利的年份, 小麦叶锈病仍然是甘肃省小麦生产的重大威胁。因此, 对小麦叶锈病的持续监测和管理对于确保小麦生产的可持续发展至关重要。通过综合鉴定小麦材料的抗锈病能力, 可以选出具有较高抗病能力的材料, 有利于培育高产优质、抗病抗逆的小麦新品种, 同时提高小麦的产量和质量。而今后抗病育种工作中, 应充分利用优异的抗叶锈材料, 并注重成株抗性基因 *Lr34*、*Lr46*、*Lr67*、*Lr68*、*Lr74*、*Lr75*、*Lr77* 和 *Lr78* 的使用, 注重使用不同抗源进行基因聚合<sup>[23]</sup>, 丰富全省小麦品种的抗病基因, 提高抗性水平的持久性, 为品种抗锈性合理布局以及甘肃小麦锈病的综合防控有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] SAMBORSKI D J. Wheat leaf rust[J]. The Cereal Rusts, 1985, 2: 39-59.
- [2] ORDONZ M E, GERMAN S E, KOLMER J. Genetic differentiation within the *Puccinia triticina* population in South America and comparison with the North America population suggests common ancestry and intercontinental migration[J]. Phytopathology, 2010, 100(4): 376-383.
- [3] KOLMER J A, HANZALOVA A, GOYEAU H, et al. Genetic differentiation of the wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* in Europe[J]. Plant Pathology, 2013, 62(1): 21-31.

- [4] 赵盼盼, 张林亚, 贾胜娟, 等. 2009 年河北省小麦叶锈菌群体 EST-SSR 遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2014, 23(2): 61-67.
- [5] 张梦雅, 孟庆芳, 张林, 等. 不同小麦品种叶锈菌的遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2018, 47(9): 77-81.
- [6] 黄瑾, 张勃, 孙振宇, 等. 2016—2019 年甘肃省小麦叶锈菌群体结构及多样性分析[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(6): 764-772.
- [7] 陈万权, 秦庆明, 陈扬林, 等. 我国 40 个小麦品种抗叶锈性研究[J]. 植物病理学报, 2001(1): 16-25.
- [8] 刘天国, 邱军, 周益林, 等. 中国冬小麦区域试验品种抗病性评价[J]. 中国农业科学, 2015, 48(15): 2967-2975.
- [9] 闫晓翠, 李在峰, 杨华丽, 等. 30 个重要小麦生产品种抗叶锈性基因分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 272-285.
- [10] 郑慧敏, 温晓蕾, 郝晨阳, 等. 70 份国外小麦品种(系)的苗期和成株期抗叶锈病鉴定[J]. 作物学报, 2019, 45(10): 1455-1467.
- [11] GAO P, ZHOU Y, GEBREWAHID T W, et al. Identification of known leaf rust resistance genes in common wheat cultivars from Sichuan province in China [J]. Crop Protection, 2019, 115: 122.
- [12] GEBREWAHID T W, YAO Z J, YAN X C, et al. Identification of leaf rust resistance genes in Chinese common wheat cultivars[J]. Plant Disease, 2017, 101(10): 1729.
- [13] GEBREWAHID T W, ZHANG P P, YAO Z J, et al. Identification of leaf rust resistance genes in bread wheat cultivars from Ethiopia[J]. Plant Disease, 2020, 104(9): 2354.
- [14] 陈万权, 刘天国, 陈巨莲, 等. 小麦抗病虫害性评价技术规范第 2 部分: 小麦抗条锈病评价技术规范—NT/T1443.1-2007[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2007.
- [15] 鲁清林, 马忠明, 杨文雄, 等. 甘肃小麦育种现状及对策[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(5): 1-5.
- [16] 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.
- [17] 金夏红, 冯国华, 刘东涛, 等. 小麦抗叶锈病遗传研究进展 [J]. 麦类作物学报, 2017, 37 (4): 504-512.
- [18] 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.
- [19] 王万军, 贾秋珍, 曹世勤, 等. 国家区试冬小麦品种在甘肃陇南的田间抗条锈病性评价[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(4): 344-349.
- [20] 阎晓涛, 张树伟, 郑军, 等. 57 份小麦微核心种质条锈病和叶锈病成株期抗性评价[J]. 东北农业科学, 2023, 48(1): 30-34.
- [21] 朱瑜, 康占海, 师令智, 等. 40 份国内小麦品种抗叶锈性鉴定[J]. 植物遗传资源学报 2023, 24(4): 972-983.
- [22] 黄瑾, 金社林, 曹世勤, 等. 甘肃 36 个小麦生产品种抗叶锈病基因分析及成株期抗性评价[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 171-177.
- [23] KUMAR K, JAN I, SARIPALLI G, et al. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat[J]. Frontiers in Genetics, 2022, 13: 816057.