

甘肃省小麦条锈病研究进展及机遇与挑战

曹世勤^{1,2,3}, 贾秋珍^{1,2,3}, 张勃^{1,2,3}, 黄瑾^{1,2,3}, 孙振宇^{1,2,3}, 骆惠生^{1,2,3}, 王万军⁴

(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野外科学观测实验站, 甘肃 甘谷 741200; 3. 农业农村部国家植物保护甘谷观测实验站, 甘肃 甘谷 741200; 4. 天水市农业科学研究所绿色农业研究中心, 甘肃 甘谷 741200)

摘要: 小麦生产关乎国家粮食安全, 条锈病是小麦生产上最重要的病害之一。甘肃陇南越夏区是小麦条锈病常发易变区和新小种策源地。通过系统回顾甘肃省农业科学院植物保护研究所立足陇南越夏区开展小麦条锈病研究 60 年来的进展, 分析了存在的问题, 并提出未来研究方向, 旨在更好保持甘肃省农业科学院小麦条锈病研究在国内影响和地位, 为持续引领甘肃省小麦条锈病研究提供借鉴和帮助。

关键词: 小麦条锈病; 研究进展; 机遇; 挑战; 甘肃省

中图分类号: S435.121.42

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)06-0495-08

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2024.06.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2024.06.002)

Progresses, Opportunities and Challenges of Wheat Stripe Rust Research in Gansu Province

CAO Shiqin^{1,2,3}, JIA Qiuzhen^{1,2,3}, ZHANG Bo^{1,2,3}, HUANG Jin^{1,2,3}, SUN Zhenyu^{1,2,3},
LUO Huisheng^{1,2,3}, WANG Wanjun⁴

(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, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Gangu Gansu 741200, China; 4. Green Agronomic Centre, Tianshui Academy of Agricultural Sciences, Gangu Gansu 741200, China)

Abstract: Wheat production is a guarantee to the national food security. Wheat stripe rust, caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*), is one of the most important foliar diseases on wheat in China and the world. The Southern Gansu Province including Longnan City, Tianshui City, Dingxi City and Hui Autonomous Prefecture of Linxia, is hot area of *Pst* over-summering area. We summarized the progress to wheat stripe rust research of Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences (IPPS, GAAS) in the past 60 years, the questions and development directions were also discussed in this paper, aiming to better maintain the influence and status of wheat stripe rust research at Gansu Academy of Agricultural Sciences in China, and provide reference and assistance for continuously leading the research on wheat stripe rust in Gansu Province.

Key words: Wheat stripe rust; Progress; Opportunity; Challenge; Gansu Province

小麦是甘肃人每天必不可少的口粮, 近年来在甘肃省种植面积约 73.33 万 hm^2 。条锈病是甘肃省及全国小麦生产上的最主要病害, 全国每年有 133.33 万 hm^2 小麦处于条锈病的威胁之下, 持续控制小麦条锈病的发生危害, 对保障甘肃省及中国小麦安全生产意义重大。

甘肃陇南越夏区主要包括六盘山以西, 兰州市以东以南的天水市、陇南市、临夏州、定西市及平凉市庄浪县、静宁县和甘南州舟曲县等地, 特殊的地理和生态环境条件使得陇南成为中国小麦条锈病最大的越夏区和条锈病流行的“心脏”地带^[1]。从 20 世纪 60 年代中期开始, 以甘肃省农业科学

收稿日期: 2024-04-03

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1401001-08、2021YFD1401004-02); 甘肃省农业科学院生物育种专项(2022GAAS 006)。

作者简介: 曹世勤(1970—), 男, 甘肃临洮人, 研究员, 主要从事小麦主要病虫害综合防控技术研究。Email: caoshiqin6702@163.com。

通信作者: 贾秋珍(1963—), 女, 陕西大荔人, 研究员, 主要从事小麦条锈病研究工作。Email: jiaqiuzhen@163.com。

院王吉庆先生为代表的老一辈科学家与中国农业科学院植物保护研究所、中国农业大学、西北农林科技大学及省内外相关单位的曾士迈院士、李振岐院士、康振生院士等一道，扎根甘肃陇南，面向全国，系统开展了甘肃省小麦条锈病的研究与防控，取得了一个个阶段性成果，为保障甘肃省及中国小麦安全生产做出了重要贡献。新时代新征程，进一步弘扬科学家精神，持续做好小麦条锈病的研究与防控，是当前及今后一段时期新一代科技工作者身上的重要任务。

现通过回顾 60 年来甘肃省小麦条锈病研究进展，旨在为持续保持甘肃省农业科学院植物保护研究所在国内小麦条锈病研究中的地位，引领甘肃省小麦条锈病防控研究方向提供借鉴。

1 主要研究进展

1.1 系统监测了甘肃省小麦条锈菌群体消长动态

自 1974 年以来，甘肃省农业科学院植物保护研究所与中国农业科学院植物保护研究所、中国农业大学、西北农林科技大学等国内相关单位，系统开展小麦条锈菌生理小种监测，先后监测并命名了 CYR17~CYR34 生理小种 18 个，主要致病类型 200 余个。在这些生理小种和致病类型中，对甘肃省及中国影响最大的流行小种有 CYR17、CYR18、CYR19、CYR25、CYR28、CYR29、CYR31、CYR32、CYR33、CYR34^[2-19]。

根据这些小种和致病类型的出现和作用，共划分为 3 个大的致病类群时期。第 1 时期是 1974—1985 年，以 CYR17、CYR18、CYR19、CYR25 为代表的致病类群时期；第 2 时期是 1986—1993 年，以 CYR28、CYR29 为代表的洛夫林 10 和洛夫林 13 致病类群时期；第 3 时期是 1994 年至今，以 CYR31、CYR32、CYR33、CYR34 为代表的 HY、水源和 G22 致病类群时期。其中 1995—2001 年是以 CYR31、CYR32 为代表的 HY 致病类群时期，2002—2011 年是以 CYR33 为代表的水 11 致病类群时期，2012 年至今是以 CYR34 为代表的贵农 22 致病类群时期。

分析主要流行小种出现频率发现，CYR17、CYR18 在 1974 年出现频率最高，分别为 26.30%、42.40%；CYR19 在 1979 年出现频率最高，为 88.60%；CYR25 在 1982 年出现频率最高，为

44.21%；CYR28 在 1984 年出现频率最高，为 4.98%；CYR29 在 1989 年出现频率最高，达到 45.20%；CYR31 在 1996 年出现频率最高，为 13.20%；CYR32 在 2013 年出现频率最高，为 30.57%；CYR33 在 2011 年出现频率最高，达 30.77%；CYR34 在 2018 年出现频率最高，达 38.51%^[2-19]（表1）。

表 1 主要流行小种、出现最高频率及年份

小种类型	最高频率 /%	年份 /年	小种类型	最高频率 /%	年份 /年
CYR17	26.30	1974	CYR29	45.20	1989
CYR18	42.40	1974	CYR31	13.20	1996
CYR19	88.60	1979	CYR32	30.57	2013
CYR25	44.21	1982	CYR33	30.77	2011
CYR28	4.98	1984	CYR34	38.51	2018

1.2 明确了甘肃陇南越夏区在中国小麦条锈病流行体系中的作用

综合前人研究结果，认为甘肃陇南越夏区在中国小麦条锈病流行体系中具有十分重要且具有其他越夏区不可替代的作用^[1, 20-33]，主要表现在以下几方面。

1.2.1 条锈菌群体遗传多样性高 多年的系统监测表明，80%以上的条锈菌主要流行小种首先在甘肃陇南越夏区被发现，而后逐步累积并传播到全国其他麦区^[1, 34-39]；与此同时，陇南越夏区内转主寄主种类繁多，且分布范围广。自然条件下小麦条锈菌在越夏区野生感病小檗上不仅可以完成有性生殖循环，而且常年发生，在条锈病的发生中起着提供(初始)菌源的作用^[40-43]。条锈菌无性、有性菌系在该区域混合生长是最主要的特点之一。

1.2.2 地理位置优越，作用独特 从地理位置看，陇南越夏区位于中国的中部，主要包括甘肃省天水市、陇南市及定西市、临夏州等地。区域内冬春小麦均有种植，春小麦最高种植海拔可到 2 800 m，冬小麦最低种植海拔 550 m。陇南越夏区秋冬季盛行西北风，可使该区域越夏及发病秋苗上的条锈菌夏孢子快速上升到 3 000 m 以上高空并远距离向东传播，并在冬季繁殖区的成都平原、陕西南部及湖北十堰等地越冬繁殖；春季盛行东南风，当地越冬菌源向西的青海、宁夏等地传播，是条锈菌秋季和春季向外传播的“基地”和自身繁殖蔓延“基地”^[1, 26]。

1.2.3 越夏区面积大,保存菌源量多 近年来,由于全球温度升高及种植结构调整,以甘肃省定西市、临夏州等为代表的原春小麦种植区大面积改种冬小麦,使甘肃陇南越夏区面积由原来的20.0万 hm^2 扩展到目前的33.3万 hm^2 ^[26],自生麦苗数量多、苗龄大、秋苗早播为条锈菌在自生麦苗上大量繁殖和当地秋苗发病创造了较好的条件。

1.2.4 气候条件适宜,条锈菌可顺利完成周年循环 每年7月下旬至8月中旬的最热月,陇南越夏区海拔1450m以上区域,旬平均气温在23℃以下,条锈菌可在当地自生麦苗及晚熟春麦上存活并保存大量菌源,顺利完成越夏阶段。每年12月下旬至翌年1月下旬为最冷月,陇南越夏区的陇南市和天水市海拔2080m以下区域,旬平均气温在-7℃以上,侵染于秋苗上的条锈菌夏孢子和菌丝体可在小麦幼苗叶片表面和植株细胞内或细胞间顺利越冬,成为翌年当地春季流行的初侵染源及向西部春麦区提供菌源的“基地”^[1,20-25]。条锈菌在陇南越夏区内既能越冬又能越夏,完成周年循环,成为中国小麦条锈病流行的“心脏”地带^[1]。

1.2.5 秋苗期发病时间长,向冬季繁殖区传播菌源数量大 秋苗期发病时间为从每年10月中旬到12月中旬,约60d^[26]。发生于陇南越夏区感病秋苗及田边地埂自生麦苗上的条锈菌夏孢子可随西北冷空气(西北风)向我国东部麦区(条锈菌冬季繁殖区)的成都平原、陕西南部、湖北十堰和陕西关中等地源源不断的传播^[1,22-23],造成这些地区秋苗发病和病菌进一步繁殖,引致翌年春季在当地大范围发病并进一步向黄淮海麦区蔓延流行。因此,在甘肃陇南越夏区种植抗病品种,特别是苗期抗病品种,采取适期晚播、种子拌种等技术措施,可起到“功在当地、利在全国”的作用。

1.3 筛选出一大批可供育种及生产上应用的品种(系)材料及种质资源

针对陇南越夏区新小种出现频率高、抗病生产品种(系)及抗源材料抗病性丧失速度快且长期匮乏的现状,以甘肃省农业科学院王吉庆研究员、周祥椿教授等为代表的一代代植物病理学家与育种家们长期协作,开展优异抗病品种(系)及种质资源的挖掘、评价和创制与应用。60年来,先后对20000余份国内外品种(系)及农家品种材料进

行抗条锈病性鉴定和评价,筛选出繁6、南农92R、贵农21、贵协1号、1R35、武都白茧儿、Pascal、Flanders、Holdfast等优异种质资源材料3000余份供育种中利用^[44-59]。甘肃省农业科学院小麦研究所、甘肃省农业科学院植物保护研究所、天水市农业科学研究所、陇南市农业科学研究所等区域内相关育种单位以此为亲本,培育和鉴定出在陇南越夏区先后广泛应用的以兰天10号、兰天19号、兰天26号、兰天36号等为代表的兰天系列品种,以及以天选48号、天选54号等为代表的天选系列品种,以中梁22号、中梁25号等为代表的中梁系列品种,以武都19号等为代表的武都系列品种共计333个^[60-62]。筛选出了以咸农4号等为代表的慢条锈品种并明确了其抗性组分特点和生理特点^[63-65]。通过多种方法,先后明确了兰天4号等300余份优异品种材料遗传结构及其所含抗条锈病基因^[66-77],从优异种质材料BJ399中标记出对CYR34具有苗期抗性的新基因 $YrBJ399$ ^[78]。这些工作的开展,为陇南越夏区条锈病的持续控制和保障我国东部麦区的小麦安全生产起到了保驾护航的作用。

1.4 综合防控技术研究取得新成效

1.4.1 抗病品种(基因)布局应用 抗锈品种多样化对控制或减轻条锈病的流行为害有显著作用,对不同抗源品种合理布局是控制条锈病流行为害更为有效的措施^[1,79]。自二十一世纪初开始,甘肃省农业科学院与中国农业科学院、西北农林科技大学相关专家持续开展了甘肃陇南小麦抗品种多样性和基因布局研究,定向选育适于陇南越夏区种植且抗条锈病基因背景不同的抗锈品种。通过提出抗病品种布局方案,实现抗病品种(基因)合理布局,不仅大大提高了小麦条锈病菌源基地抗病基因丰富度,而且构筑条锈菌生活循环的双重遗传屏障,抑制病菌变异,延缓了病菌优势小种的产生与发展,目前已取得阶段性成效。从生理小种出现及流行频率看,新小种的出现年限从1974—1979年的1.2a、1980—1993年的1.6a延长到1994—2020年的4.8a,主要流行小种出现频率从最高的80%以上显著降低到38%。

1.4.2 降低菌源量技术应用 每年8月下旬到10月中旬,通过延迟翻耕、人工或化学防除等措施,

尽可能消灭田间地埂及场院的自生麦苗；对苗期感病品种，在播种期进行种子拌种(包衣)全覆盖；在不影响翌年产量的前提下，进行适期晚播 10 d 以上，可显著延迟秋苗期发病时间、降低发病程度。每年秋苗期或早春，在开展常规调查的基础上进行带药侦查，对发病中心及邻近麦苗进行重点喷雾防治，以降低扩散速率和向外传播菌源的量；对越夏区田边地埂的麦秸垛，于每年 4 月中旬至 6 月中下旬用塑料布封盖，以防秸秆吹落于临近小槩并造成发病；对小槩进行喷药防治，控制发病程度，降低病叶率。

1.4.3 监测预警技术应用 樊兆远等^[80]通过对小麦条锈病流行的相关预测因子进行回归分析，建立了甘谷县小麦条锈病流行动态回归模型；Hu 等^[30]利用陇南越夏区秋苗期菌量，开展了越冬及早期病害流行预测研究。云晓微等^[81]对甘肃省平凉市、陕西省汉中市和河南省郑州市的高空风量风向数据进行分析发现，三地之间小麦条锈病的发生流行具有较高的相关性，交叉验证准确率最高可达 93.8%。罗菊花等^[82]利用建立的基于 GIS 的小麦条锈病预警系统对甘肃省庆阳市西峰区小麦条锈病进行预测，结果显示 2002 年小麦条锈病 5 级大发生，与实际发生结果基本吻合。闫佳会等^[83]应用 real-time PCR 定量检测技术，对甘谷田间小麦条锈菌秋苗期潜伏侵染进行了初步研究，发现分子病情指数(MDI)和田间病情指数(DI)间存在极显著的相关性。郭丽丽等^[84]通过对空气中的小麦条锈菌夏孢子进行 qPCR 检测，明确了我国陇南地区小麦条锈菌夏孢子密度的周年动态规律。基于 RNA 水平的 qPCR 检测技术，马丽杰^[85]构建了田间越冬小麦叶片中活体条锈菌量的检测方法，明确了甘肃省和青海省不同地区的小麦条锈菌越冬菌量。谷医林等^[86]、Gu 等^[87]利用带有 8 个 1.5 mL 离心管的旋转盘式孢子捕捉器对小麦条锈菌夏孢子进行捕捉，明确了甘肃省甘谷县空气中小麦条锈菌孢子的周年动态变化规律。这些工作的开展，为陇南越夏区条锈病的早期精准监测和高效防治提供了技术支持。

1.4.4 综合防控技术应用 针对三唑酮有效性问题，有针对性地开展不同用药次数对防治效果的影响，认为在科学合理的用药条件下，可有效

控制田间条锈病发生流行^[88]；基于生物多样性原理，开展了小麦品种混种或小麦与其他作物间种控制条锈病发生流行的研究^[89-90]；基于条锈病发生流行特点，提出了防控策略^[91-92]。通过“十三五”国家重点研发项目“北方小麦化肥农药减施技术的集成应用”在甘肃省的实施，通过拌种和适期晚播这两项降低初侵染源技术，可使甘肃陇南小麦条锈菌越夏区小麦条锈病的发病时间延后 20 d，病叶率显著低于不拌种对照的同期病情。通过 2018—2020 年在位于甘肃陇南低海拔川道区的甘肃省农业科学院植物保护研究所甘谷试验站的应用表明，使用抗条锈病品种，防治条锈病药剂可减施 100%；使用助剂激健，杀菌剂 20%三唑酮乳油施用量可减少 30%，农药利用率提高到 63%，终期产量较农户对照田增产 14.5%和 11.1%。针对陇南越夏区治理，冯晶等^[93]提出了定向生态育种和抗病基因合理化利用，在小麦条锈病不同流行区构建互不重叠的遗传屏障，切断菌源基地内病菌周年循环以及东西部麦区之间的菌源传播交流途径的总体思路，提出了指导性、指令性、区域性、多样性、开放性、长远性的原则。

2 面临的挑战

经过甘肃省农业科学院小麦条锈病研究团队三代人的共同努力，在条锈病流行规律、条锈菌生理小种监测、品种抗病性及综合防控技术集成与研究应用方面开展了大量工作，一方面积累了丰富的数据资料，为条锈病的持续控制与陇南越夏区的治理提供了技术支撑；另一方面在团队建设和学科发展方面走在了全国的前列。面对新时代新任务，特别是面对国家粮食安全需求和新一轮粮食千亿斤行动、人才培养等方面，仍然存在诸多薄弱环节需要不断努力克服。一是基础学科研究尚需进一步深入。目前，小麦条锈病研究的重心已从常规转入宏观和微观两个方面，应紧盯国内外研究步伐，在分子生物学和宏观流行病学方面齐发力，在深度和广度上下功夫。二是前沿交叉学科研究尚需进一步紧密加强。面对智慧植保，需要不断从海量数据中挖掘新规律，亟需找到新的交叉融合点和突破点；基于物联网的田间仪器设备应用尚需进一步加强。三是科技创新能力尚需进一步加强。团队中 85 后人才匮乏、对

新型交叉学科了解和应用不多是最关键的制约因素。

3 展望

小麦条锈病研究就是甘肃省植物病理学研究的缩影,涉及方方面面的内容。对其研究不仅要面向国内国际前沿,紧盯热点问题进行探讨,更要面向农业生产的主战场,针对陇南越夏区治理做好文章。陇南越夏区治理是一项庞大的系统工程,涉及植物病理学、小麦遗传育种学、作物栽培学、农业生态学和农业经济学等诸多学科领域,必须全国一盘棋,围绕当前农业高质量发展和乡村振兴目标,加强不同学科领域的协同创新以及科研、生产和管理部门的密切合作,只有如此,小麦条锈病持续控制目标才有可能实现。甘肃省农业科学院植物保护研究所小麦锈病团队面对新时代新赛道,需要咬定锈病这个“青山”不放松,秉持“在创新中守正、在守正中创新”的原则,坚持一张蓝图画到底,奏响新时代甘肃小麦锈病研究新篇章。一要坚持目标导向。紧盯国家新一轮粮食千亿斤行动计划和甘肃省小麦绿色化发展规划,努力在大数据应用、精准监测预警、新药剂筛选及减量使用、高效防控技术等研发和集成应用上下功夫、出实招;基于分子标记、基因编辑、合成生物学以及基因组学、蛋白组学、代谢组学和生物信息学等现代生物技术的发展,开展小麦抗条锈病基因的鉴定标记、分离克隆、功能分析及其转移利用,从表型和生物信息学两方面着手,与育种家密切合作,精准开展种质资源的抗逆性评价、筛选与利用等基础性工作。对抗逆性优异的远缘材料,结合生物育种技术,通过回交手段或通过染色体工程技术,克服生殖隔离、聚合野生优异资源,创制二线抗原,持续解决种质资源匮乏的“卡脖子”技术和育种之需^[60-61]。进一步充实陇南小麦抗条锈病基因库,强化抗病基因合理布局。加强实用新技术培训和宣传,将甘肃省农业科学院小麦锈病、甘谷试验站及清水试验站的“金字招牌”做大做强。二要创新方式方法。在策略上,进一步借助西北农林科技大学的力量,强化与中国农业科学院植物保护研究所的合作,加强与省内相关育种、推广单位的联合,以甘谷试验站为立足点,开展陇南越夏区源头治理工作。

在技术上,基于常规鉴定和监测,将分子生物学、大数据等微观、宏观研究技术应用于陇南越夏区生产实践,并使其大放异彩。三要强化人才培养。大胆起用和着力培养现有80后博士、硕士研究生人才,并使之尽快成长为省内、国内拔尖领军人才;尽快引进高素质青年科技人才,充实研究队伍,努力在“十四五”末形成年龄结构更为合理、创新能力更强的研究团队。四要明晰目标任务。团队在有明晰的研究方向及有近期、中期和长期的目标任务基础上,制定出“十四五”产出目标及“十五五”“十六五”发展规划,要有更为清晰可行的产出目标和成果培育目标。要居安思危,在内引外联的基础上做大做强自身,引领甘肃小麦条锈病研究再上新台阶,实现新跨越。

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] 汪可宁, 吴立人, 孟庆玉, 等. 1975—1984年我国小麦条锈菌生理小种专化研究[J]. 植物病理学报, 1986, 16(2): 79-85.
- [3] 宋位中, 贾秋珍, 刘守俭. 1986—1990年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测研究[J]. 甘肃科学学报, 1991, 3(3): 61-66.
- [4] 贾秋珍, 宋位中, 刘守俭. 1991年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 甘肃农业科技, 1992(12): 25-26.
- [5] 贾秋珍, 刘守俭. 1992年甘肃省小麦条锈菌小种动态简报[J]. 甘肃农业科技, 1993(10): 31-32.
- [6] 贾秋珍, 金社林, 李继平. 1993—1994年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测报告[J]. 甘肃农业科技, 1995(10): 34-35.
- [7] 贾秋珍, 金社林, 李继平, 等. 1995年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测报告[J]. 甘肃农业科技, 1996(9): 35-36.
- [8] 贾秋珍, 金社林. 1996年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 甘肃农业科技, 1997(12): 34-36.
- [9] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤. 1998—1999年甘肃省小麦条锈菌小种变异监测结果[J]. 甘肃农业科技, 2001(1): 37-39.
- [10] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤, 等. 2000—2001年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 甘肃农业科技, 2003(1): 48-51.
- [11] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤, 等. 2002—2003年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 植物保护, 2005,

- 31(2): 44-47.
- [12] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤, 等. 2006—2007 年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 105-108.
- [13] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤, 等. 2008—2009 年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 130-133.
- [14] 黄瑾, 贾秋珍, 金社林, 等. 2010—2012 年甘肃省小麦条锈菌生理小种监测结果[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 101-105.
- [15] 贾秋珍, 曹世勤, 黄瑾, 等. 2013—2016 年甘肃省小麦条锈菌生理小种变异监测[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 162-167.
- [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.
- [17] 贾秋珍, 曹世勤, 王晓明, 等. 2019 年—2020 年甘肃省小麦条锈菌生理小种变异监测[J]. 植物保护, 2022, 48(5): 327-332.
- [18] 曹世勤, 贾秋珍, 宋建荣, 等. 甘肃省冬小麦抗条锈菌 CYR34 育种策略[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1129-1133.
- [19] WAN ANMIN, ZHAO ZHONGHUA, CHEN XIANMING, et al. Wheat stripe rust epidemic and virulence of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in China in 2002[J]. Plant Disease, 2004, 88: 896-904.
- [20] 王吉庆, 陆家兴, 刘守俭, 等. 甘肃地区小麦条锈病菌越冬规律的初步研究[J]. 植物病理学报, 1965, 8(1): 1-9.
- [21] 谢水仙, 万安民, 吴立人, 等. 甘肃陇南小麦秋苗条锈病传播的研究[J]. 植物保护, 1994, 20(5): 6-8.
- [22] 刘孝坤, 洪锡午, 谢水仙, 等. 陇南南部小麦条锈菌越冬的初步研究[J]. 植物病理学报, 1984, 14(1): 9-16.
- [23] 谢水仙, 汪可宁, 陈扬林, 等. 我国小麦条锈病菌传播与高空气流关系的初步研究[J]. 植物病理学报, 1993, 23(3): 203-209.
- [24] 谢水仙, 陈万权, 陈扬林, 等. 陇南和阿坝地区小麦条锈菌传播的研究[J]. 植物病理学报, 1992, 22(2): 137-143.
- [25] ZENG SHIMAI, LUO YONG. Long-distance spread and interregional epidemics of wheat stripe rust in China[J]. Plant Disease, 2006, 90(8): 980-988.
- [26] 曹世勤, 金社林, 段霞瑜, 等. 甘肃中部麦区小麦条锈病菌越冬调查及品种抗性变异监测结果初报[J]. 植物保护, 2011, 37(3): 133-138.
- [27] 潘广, 陈万权, 刘太国, 等. 天水地区不同海拔高度小麦条锈菌越冬调查初报[J]. 植物保护, 2011, 37(2): 103-106.
- [28] 马占鸿, 石守定, 王海光, 等. 我国小麦条锈病菌既越冬又越冬地区的气候区划[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(8): 11-14.
- [29] 马占鸿, 石守定, 姜玉英, 等. 基于 GIS 的中国小麦条锈病菌越冬区气候区划[J]. 植物病理学报, 2005, 34(5): 455-462.
- [30] HU XIAOPING, CAO SHIQIN, ALEX CORNELIUS, et al. Predicting overwintering of wheat stripe rust in central and northernwestern China[J]. Plant Disease, 2020, 104: 44-51.
- [31] 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.
- [32] 曹世勤, 何理, 陈杰新, 等. 平凉市崆峒区小麦条锈菌越冬调查初报[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(1): 34-37.
- [33] 孙振宇, 曹世勤, 金社林. 2015 年甘肃陇南及邻近省份小麦条锈病春季流行调查[J]. 甘肃农业科技, 2015(8): 5-7.
- [34] 康振生, 王晓杰, 赵杰, 等. 小麦条锈菌致病性及其变异研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3439-3453.
- [35] 吴立人, 牛永春. 我国小麦条锈病持续控制的策略[J]. 中国农业科学, 2000, 33(5): 46-54.
- [36] HUANG MIAOMIAO, LIU TAIGUO, CAO SHIQIN, et al. Analyses of wheat yellow rust populations reveal sexual recombination and seasonal migration pattern of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Gangu, Northwestern China[J]. Phytopathology, 2021, 111: 2268-2277.
- [39] 康振生, 李振岐, 商鸿生, 等. 绵阳系统小麦条锈菌新菌系的发现[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1994, 22(3): 7-11.
- [40] WANG ZHIYAN, ZHAO JIE, CHEN XIANMING, et al. Virulence variation of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* collected from *Berberis* spp. in China[J]. Plant Disease, 2016, 100: 131-138.
- [41] 刘尧, 陈晓云, 马雲, 等. 甘肃陇南感病小檗在小麦条锈病发生中起提供(初始)菌源作用的直接证据[J]. 植物病理学报, 2021, 51(3): 366-380.
- [42] ZHAO JIE, WANG L, WANG ZHIYAN, et al. Identifi-

- cation of eighteen species as alternate hosts of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* and virulence variation in the pathogen isolates from natural infection of barberry plants in China[J]. *Phytopathology*, 2013, 103: 927-934.
- [43] JIN YUE, SZABO L, CARSON M, et al. Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of *Berberis* as an alternate host [J]. *Phytopathology*, 2010, 100(5): 433-435
- [44] 张二喜, 李金昌, 吕莉莉. 小麦地方品种资源对条锈病的抗性鉴定及评价[J]. *甘肃农业科技*, 2006(7): 9-12.
- [45] 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, 32(1): 83-85.
- [46] 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, 25(1): 6-12.
- [47] 曹世勤, 骆惠生, 贾秋珍, 等. 冀鲁豫部分小麦生产品种在甘肃陇南抗条锈性表现[J]. *植物保护*, 2009, 35(4): 143-146.
- [48] 曹世勤, 金社林, 李继平, 等. 意大利小麦品种资源抗条锈性鉴定[J]. *作物品种资源*, 1998(1): 33-34.
- [49] 曹世勤, 金社林, 金明安, 等. 1994—2002年小麦品种(系)抗条锈性鉴定与监测[J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(2): 119-122.
- [50] 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.
- [51] 曹世勤, 贾秋珍, 孙振宇, 等. 贵农系列小麦种质资源在甘肃陇南的抗条锈病研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(4): 1048-1053.
- [52] 曹世勤, 贾秋珍, 孙振宇, 等. 南农 92R 系列小麦种质在甘肃陇南的条锈病和白粉病抗性表现及其利用价值[J]. *麦类作物学报*, 2020, 40(8): 1008-1014.
- [53] 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.
- [54] 王万军, 曹世勤, 王晓明, 等. 86 份贵协系小麦种质资源对条锈病的抗病性评价[J]. *植物保护*, 2016, 41(2): 198-203.
- [55] 曹世勤, 王晓明, 贾秋珍, 等. 2003—2013 年小麦品种(系)抗条锈性鉴定及评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(2): 253-260.
- [56] 谢水仙, 万安民, 张庆勤, 等. 小麦新资源对条锈病和白粉病的抗性鉴定[J]. *植物保护*, 1997, 23(6): 3-5.
- [57] 曹世勤, 黄瑾, 贾秋珍, 等. 中 4 抗条锈性特点及其在抗病育种中的利用价值[J]. *植物保护*, 2013, 43(6): 91-94.
- [58] 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.
- [59] 骆惠生, 曹世勤, 贾秋珍, 等. 2003—2006 年小麦品种(系)抗条锈性鉴定结果[J]. *甘肃农业科技*, 2007(6): 23-25.
- [60] 曹世勤, 贾秋珍, 鲁清林, 等. 甘肃陇南越夏区小麦抗条锈病育种研究进展[J]. *寒旱农业科学*, 2022, 1(2): 104-110.
- [61] 曹世勤, 王万军, 贾秋珍, 等. 甘肃省冬小麦抗条锈病育种现状及对策[J]. *中国农业科技导报*, 2022, 24(10): 109-124.
- [62] 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.
- [63] 曹世勤, 金社林, 贾秋珍, 等. 小麦慢条锈品种成株期抗性组分分析[J]. *植物保护*, 2006, 32(4): 39-42.
- [64] 王万军, 曹世勤. 小麦慢条锈品种鉴定及筛选[J]. *甘肃农业科技*, 2014(5): 19-21.
- [65] 秦丽萍, 金明安, 骆惠生, 等. 条锈菌侵染对小麦慢锈品种叶绿素含量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2004(5): 50-52.
- [66] CAO SHIQIN, FENG JING, HUANG JIN, et al. Identification of seedling resistance genes to stripe rust and analysis of adult plant resistance in 82 wheat cultivars from Gansu province in China[J]. *International Journal of Agricultural & Biology*, 2017, 19(3): 485-494.
- [67] 曹世勤, 吕小欢, 黄瑾, 等. 甘肃省 26 个春小麦品种(系)苗期抗条锈基因分析及成株期抗病性评价[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(4): 771-776.
- [68] 曹世勤, 骆惠生, 黄瑾, 等. 冬小麦品种陇鉴 9821 抗条锈遗传分析[J]. *植物病理学报*, 2012, 42(3): 274-280.
- [69] 张静, 贾秋珍, 曹世勤, 等. 农家品种白大头及其衍生系天 00127 苗期抗条锈性遗传分析[J]. *植物保护*, 2022, 8(2): 101-105.
- [70] 黄苗苗, 李亚凯, 黄瑾, 等. 冬小麦品种兰天 23 号苗期抗条锈基因遗传分析[J]. *植物保护*, 2015, 41(5): 188-191.
- [71] 骆惠生, 曹世勤, 黄瑾, 等. 美国小麦种质资源

- IR35 抗条锈性评价及遗传分析[J]. 植物保护, 2013, 39(1): 100-103.
- [72] 马雨磊, 骆惠生, 贾秋珍, 等. 中梁 22 号小麦抗条锈基因的遗传分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 43(5): 110-112.
- [73] 谢志军, 曹世勤, 金社林, 等. 意大利抗病小麦品种 Pascal 抗条锈性的遗传分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(2): 39-41.
- [74] 曹世勤, 孙振宇, 冯 晶, 等. 天选系列冬小麦品种抗条锈性分析[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(2): 268-274.
- [75] 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.
- [76] 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.
- [77] 王 娜, 刘鸿燕, 周喜旺, 等. 天水 106 份冬小麦品种(系)Yr18 基因和 1BL/1RS 易位的分子检测[J]. 甘肃农业科技, 2019(8): 27-29.
- [78] 周喜旺, 刘鸿燕, 王 娜, 等. 小麦种质资源 BJ399 抗条锈病基因的分子标记定位[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(6): 676-681.
- [79] 刘孝坤, 谢水仙, 汪可宁, 等. 陇南地区小麦品种布局与条锈病流行关系的分析[J]. 植物保护, 1986, 16(1): 12-13.
- [80] 樊兆远, 曹世勤, 骆惠生, 等. 甘谷小麦条锈病流行预测模型建立[J]. 甘肃农业科技, 2008(10): 19-21.
- [81] 云晓微, 王海光, 马占鸿. 利用高空风预测小麦条锈病研究初报[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 358-363.
- [82] 罗菊花, 黄文江, 韦朝领, 等. 基于 GIS 的农作物病虫害预警系统的初步建立[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 127-131.
- [83] 闫佳会, 骆 勇, 潘娟娟, 等. 应用 real-time PCR 定量检测田间小麦条锈菌潜伏侵染的研究[J]. 植物病理学报, 2011, 41(6): 618-625.
- [84] 郭丽丽, 卢雪敏, 张升恒, 等. 陇南小麦条锈菌夏孢子的周年动态变化规律[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1257-1262.
- [85] 马丽杰. 小麦条锈菌潜育越冬的分子流行病学[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [86] 谷医林, 王翠翠, 初炳瑶, 等. 甘谷县春季空气中小麦条锈菌孢子动态的监测及其与气象因素的相关性分析[J]. 植物保护学报, 2018, 45(1): 161-166.
- [87] GU YILIN, LI YUE, WANG CUICUI, et al. Interseasonal and altitudinal inoculum dynamics for wheat stripe rust and powdery Mildew epidemics in Gangu, northwestern China[J]. Crop Protection, 2018, 110: 65-72.
- [88] 王万军, 贾秋珍, 曹世勤, 等. 15%三唑酮喷施次数对小麦条锈病的防治效果[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(5): 464-467.
- [89] 王红丽, 蒋 倩, 曹世勤, 等. 品种混种对小麦条锈病发生和小麦产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 1-21.
- [90] CAO SHIQIN, LUO HUISENG, JIN MING'AN et al. Intercropping influenced the occurrence of stripe rust and powdery mildew in wheat[J]. Crop Protection, 2015, 70: 40-46.
- [91] 李继平, 金社林, 曹世勤, 等. 1996 年甘肃陇南麦区小麦条锈病发生特点及今后防治策略[J]. 植物保护, 1998, 24(1): 22-24.
- [92] 曹世勤, 金明安, 金社林, 等. 甘肃省 2002 年小麦条锈病发生情况及防治策略[J]. 甘肃农业科技, 2003(4): 46-48.
- [93] 冯 晶, 王凤涛, 蔺瑞明, 等. 小麦条锈病抗病遗传及菌源基地基因布局研究进展[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 263-275.