

网络出版时间:2024-08-20

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20240820.0853.003

## 新疆昭苏县小麦条锈菌生理小种鉴定

曾明昊<sup>1,2</sup>, 田柏硕<sup>1,2</sup>, 曲铭好<sup>1,2</sup>, 刘琦<sup>1,2</sup>, 陈晶<sup>1,2</sup>

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安全防护重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052;

2. 农业农村部西北荒漠绿洲农林外来入侵生物防控重点实验室(部省共建), 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:**新疆昭苏县年均气温低, 小麦条锈菌可独立完成周年循环, 同时当地可能与西邻的哈萨克斯坦存在菌源交流。为了明确该地区小麦条锈菌生理小种构成, 对2023年采自新疆昭苏县100份小麦条锈菌标样进行生理小种鉴定。结果表明, 共监测到16个生理小种, 其中CYR34、CYR30、贵22-13及Su11-2出现频率较高, 分别为21.62%、10.81%、10.81%和9.45%; 贵农22类群为优势类群, 出现频率高达39.19%。抗条锈病基因Yr1、YrA、Yr3、Yr6、YrVir1-4、YrSu和Yr9的毒性频率均大于70%, 而抗条锈基因Yr3b+4b、YrJul-4、Yr1、YrKy1-4、Yr10、Yr24/26和Yr5还可利用。这说明新疆昭苏县的小麦条锈菌生理小种丰富, CYR34已成为该地区的流行小种, 部分抗锈基因已基本丧失抗性。

**关键词:** 新疆昭苏县; 小麦条锈菌; 生理小种; 毒性分析

中图分类号: S435.121.42

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)05-0587-06

## Identification of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Physiological Races in Zhaosu County, Xinjiang

ZENG Minghao<sup>1,2</sup>, TIAN Baishuo<sup>1,2</sup>, QU Mingyu<sup>1,2</sup>, LIU Qi<sup>1,2</sup>, CHEN Jing<sup>1,2</sup>

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830052, China; 2. Key Laboratory of Prevention and Control of Invasive Alien Species in Agriculture & Forestry of the North-Western Desert Oasis (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** Due to the annual low average temperature, wheat stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Pst*) could complete the annual cycle independently in Zhaosu County, Xinjiang. Meanwhile, neighboring Kazakhstan to the west, the *Pst* in local may have exchanges with foreign ones. Therefore, it is of great significance to identify physiological race of wheat stripe rust in this county. In this study, 100 samples of wheat stripe rust was collected from Zhaosu county, Xinjiang in 2023, which was conducted to identify physiological race, then to clarify the physiological race composition in this region. The results showed that a total of 16 physiological races were detected, among which CYR34, CYR30, Gui22-13, and Su11-2 had higher frequencies, accounting for 21.62%, 10.81%, 10.81%, and 9.45% respectively. Guinong 22 group was the dominant group, with a high frequency of 39.19%. The occurrence frequencies of strains carrying resistance genes Yr1, YrA, Yr3, Yr6, YrVir1-4, YrSu, and Yr9 were all greater than 70%. However, the available resistance genes against stripe rust include Yr3b+4b, YrJul-4, Yr1, YrKy1-4, Yr10, Yr24/26, and Yr5. The physiological races of wheat stripe rust in Zhaosu has abundant diversity, with CYR34 race becoming prevalent in the region. Some resistant genes have basically lost their resistance in Zhaosu County.

收稿日期: 2024-04-09 修回日期: 2024-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(32360659)

第一作者 E-mail: xjauzeng@163.com(曾明昊)

通讯作者 E-mail: liuqi@xjau.edu.cn(刘琦)

**Keywords:** Zhaosu county; Wheat stripe rust; Physiological races; Virulence analysis

小麦是世界三大主要粮食作物之一,由条形柄锈菌小麦专化型(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)引起的小麦条锈病是影响小麦优质高产的重要病害。条锈病大流行时小麦会大幅减产,甚至绝产<sup>[1-2]</sup>。新疆是中国小麦条锈病独立的流行区,而在新疆伊犁河谷地区小麦条锈病已成为该地区小麦的主要病害<sup>[3]</sup>。昭苏县位于伊犁河谷地区西南部,为中亚内陆腹地一个群山环抱的高位山间盆地。其东接特克斯,南邻阿克苏,西面与哈萨克斯坦交界,菌源与伊犁河谷地区及哈萨克斯坦可能存在交流。同时,昭苏县气候特点是冬长夏短,春秋湿润,年平均温度 2.9 °C,年均降水量达 511.8 mm,为全疆之冠。降水空间分布特点是东部多于西部,山区多于盆地。小麦条锈病原菌具有活体专性寄生、喜冷凉的特点,其无性孢子可高空远距离传播<sup>[4-7]</sup>。近年来新疆小麦条锈病的研究主要集中于对伊犁河谷地区进行生理小种鉴定及毒性分析,发现该地区水源 11 类群及贵农 22 类群为优势致病类群<sup>[8]</sup>,伊犁河谷地区的小麦条锈菌群体遗传结构分析揭示了该地区遗传多样性水平较高,不同县市之间存在着频繁的菌源交流<sup>[9]</sup>。目前有研究对新疆春小麦抗条锈基因进行了检测及抗病性评价<sup>[10]</sup>,对昭苏县小麦条锈菌研究报道较少。昭苏县独特的地理环境和气候条件使得小麦条锈菌既可以在此越夏和越冬,而越夏区极易变异产生新致病小种,越冬区可能存在其他地区菌源交流。因此,明确当地小麦条锈菌生理小种群体结构对新疆地区抗病品种布局和抗病基因筛选提供理论依据,同时对伊犁河谷地区小麦条锈菌传播流行研究提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 小麦条锈菌样品的采集

2023 年 8 月采集新疆伊犁州昭苏县 7 个地点的小麦条锈菌标样 100 份。采集初始发病叶片(即锈孢子堆新鲜饱满,病斑清晰的叶片),野外使用纸巾将标样干燥,单独平放于采样袋内,记录样本详细信息(采集地点、经纬度、海拔高度等),置于 4 °C 干燥器中冷藏备用。

### 1.2 小麦条锈菌样品纯化与扩繁

#### 1.2.1 小麦条锈菌的分离、扩繁与鉴定

小麦条锈菌的分离、扩繁与鉴定均在新疆农

业大学农学院人工气候室进行。小麦品种为感病品种铭贤 169,挑选粒大饱满的种子,均匀播种于装有营养土的小花盆(直径 10 cm)中,每盆播种 15 粒,置于(11±3)°C 人工气候室培养备用。

#### 1.2.2 菌种活化

待小麦长至一叶一心期进行接种,接种前一天,用清水冲洗掉病叶表面的尘土杂质,叶片正面向上平整地置于铺有湿润滤纸的培养皿(直径 10 cm)底部,加盖后于 4 °C 黑暗条件下保湿 8~12 h,待活化至鲜黄色夏孢子时,即可用于接种。

#### 1.2.3 接种

去除小麦第一片叶表面蜡质后,喷施 0.01% 吐温 80 水溶液,然后挑取单个夏孢子转移至小麦叶片表面的液滴上。接种完成后将小麦置于泡沫箱中黑暗保湿 24 h,温度为 9~11 °C,相对湿度为 80%。随后转移至人工气候室内罩上透明胶片罩隔离培养,培养条件为 14 °C,昼/夜时长 12 h/12 h,光照强度为 8 000~10 000 Lx。

#### 1.2.4 菌种扩繁

接种 15~20 d 后,叶片表面逐渐产生夏孢子堆后进行菌种收集及扩繁。用玻璃棒轻敲小麦叶片,将夏孢子收集至离心管中,存于 4 °C 干燥器中冷藏备用。重复接种 3~5 次直至收集到 10~15 mg 足够用于生理小种鉴定的夏孢子量。

## 1.3 小麦条锈菌生理小种鉴定

### 1.3.1 小麦条锈菌鉴定寄主

以感病品种铭贤 169 作为对照,采用中国通用的 19 个小麦条锈菌鉴别寄主品种对本研究采集的小麦条锈菌生理小种进行鉴定。鉴别寄主及其所含抗性基因见表 1。

### 1.3.2 生理小种鉴定

待鉴别寄主麦苗长至 1 叶 1 心期时与扩繁接种方法相同,将纯化扩繁的菌种接种于鉴别寄主小麦叶片上,待指示品种“铭贤 169”充分发病后,逐叶调查并记载每个标样在各个鉴别寄主上的侵染型。侵染型分级按 0、0<sub>1</sub>、1、2、3、4 共 6 级标准(表 2)进行划分,其中 0~2 级为抗病(R),3~4 级为感病(S)。根据各菌系在鉴别寄主上侵染类型判定条锈菌生理小种类型<sup>[11]</sup>。

表 1 鉴别寄主及其抗性基因  
Table 1 Differential host and resistance genes

编号 No.	小麦品种 Wheat variety	抗条锈基因 resistance genes	编号 No.	小麦品种 Wheat variety	抗条锈基因 resistance genes
J1	Trigo Eureka	<i>Yr6</i>	J11	丰产 3 号 Fengchan 3	<i>Yr1</i>
J2	Fulhard	<i>Yr+</i>	J12	洛夫林 13 Lovirn 13	<i>Yr9, Yr+</i>
J3	保春 128 Baochun 128	<i>Yr+</i>	J13	抗引 655 Kangyin 655	<i>Yr1, YrKyl-4</i>
J4	南大 1429 Nanda 1429	<i>Yr+</i>	J14	水源 11 Suwon 11	<i>YrSu</i>
J5	维尔 Virgilio	<i>YrVir1-4</i>	J15	中四 Zhongsi	<i>Yr+</i>
J6	阿勃 Abo	<i>Yr+</i>	J16	洛夫林 10 Lovirn 10	<i>Yr9, Yr+</i>
J7	旱洋 Hanyang	<i>Yr+</i>	J17	Hybrid 46	<i>Yr3b, Yr4b</i>
J8	阿夫 Funo	<i>YrA+</i>	J18	<i>Triticum spelta album</i>	<i>Yr5</i>
J9	丹麦 1 号 Danish 1	<i>Yr3</i>	J19	贵农 22 Guinong 22	<i>Yr10, Yr24/26</i>
J10	尤皮 2 号 Jubilejina II	<i>YrJu-4</i>			—

表 2 小麦条锈病苗期侵染型分级标准

Table 2 Classification standard of infection type at the seedling stage of wheat stripe rust

侵染型 Infection type	级别 Scales	症状描述 Symptom descriptions
抗病 Resistance	0	叶上不产生任何可见的症状
	0;	叶上产生小型枯死斑,不产生夏孢子堆
	1	叶上产生枯死条点或条斑,夏孢子堆很小,数目很少
	2	夏孢子堆小到中等大小,较少,其周围叶组织枯死或显著褪绿
感病 Susceptible	3	夏孢子堆较大、较多,其周围叶组织有褪绿现象
	4	夏孢子堆大而多,周围不褪绿

0~2 级划分为抗病类型(R),3~4 级划分为感病类型(S)。

Grade 0-2 indicate resistance to stripe rust, and grade 3-4 indicate sensitivity to the disease.

## 2 结果与分析

### 2.1 100 个小麦条锈菌标样的生理小种鉴定结果

从新疆昭苏县 100 份小麦条锈病样品中,共分离出 74 份标样(表 3)。通过生理小种鉴定,74 份标样明确分离出 16 个生理小种类型,包括早期的小种 CYR23、CYR25,洛 10 类群的生理小种 CYR18、洛 10-2, Hybrid 46 类群的生理小种 CYR30、CYR31、CYR32、Hy-4,水源 11 类群的生理小种 Su11-2、Su11-9、Su11-10、Su11-13、CYR33,以及贵农 22 类群的生理小种 CYR34、贵 22-13、贵 22-14。未明确小种归类的标样有 9 份。

### 2.2 致病类群分析

在标样中,较早期 CYR23、CYR25 共 2 份,占比 2.70%;洛 10 类群 4 份,占比 5.40%;Hybrid 46 类群 17 份,占比 22.97%;水源 11 类群 13 份,占比 17.57%;贵农 22 类群 29 份,占比 39.19%;未归类共有 9 份,占比 12.16%(表 3)。鉴定结果表明,Hybrid 46 类群、水源 11 类群和贵农 22 类群是新疆昭苏县小麦条锈菌的主要致

病类群,3 个类群出现频率为 79.73%。贵农 22 类群出现频率最高,出现频率高达 39.19%,为新疆昭苏县的优势致病类群。

### 2.3 小种类型分析

在 Hybrid 46 类群中,CYR30 小种出现频率最高,为 10.81%,是本类群中的优势小种;而其余生理小种呈现低频发生,不再具备流行优势。水源 11 类群中,Su11-2 小种出现频率为 9.45%。贵农 22 类群中 CYR34 小种出现频率为 21.62%,为昭苏县所有类群中出现频率最高的生理小种,且 CYR34 小种分布范围广,在所监测的 7 个采集点中均被检出,由此判定 CYR34 为新疆昭苏县小麦条锈菌优势生理小种。其次是 CYR30 和贵 22-13,出现频率均为 10.81%。

贵农 22 类群中,CYR34(贵农 22-9)小种出现频率为 21.62%,已成为该类群中的优势小种,也是目前公认致病力最强的生理小种,在 19 个鉴别寄主中,只对中四和 *Triticum spelta album* 无毒力(表 4),是需要严加防范的生理小种。

表 3 2023 年昭苏县小麦条锈菌生理小种鉴定结果  
Table 3 Race of *Pst* identified in Zhaosu County in 2023

类群 Group	生理小种 Physiological race	标样数量 Sample quantity	小种频率 Frequency of race/%	类群频率 Frequency of group/%
早期小种类型 Early physiological race group	CYR23	1	1.35	2.70
	CYR25	1	1.35	
洛 10 类群 Lovrin 10 group	CYR28	3	4.05	5.40
	洛 10-2 Lov 10-2	1	1.35	
Hybird46 类群 Hybird 46 group	CYR30	8	10.81	22.97
	CYR31	5	6.75	
	CYR32	3	4.05	
	Hy-4	1	1.35	
水源 11 类群 Suwon 11 group	Su11-2	7	9.45	17.57
	Su11-9	1	1.35	
	Su11-10	2	2.70	
	Su11-13	1	1.35	
	CYR33	2	2.70	
贵农 22 类群 Guinong 22 group	CYR34	16	21.62	39.19
	贵 22-13 Gui 22-13	8	10.81	
	贵 22-14 Gui 22-14	5	6.75	
未归类 Unclassed		9	12.16	12.16

表 4 2023 年昭苏县小麦条锈菌生理小种在鉴别寄主上的反应型  
Table 4 *Pst* infection types on the differential host in Zhaosu County in 2023

鉴别寄主 Differential host	早期小种类型 Early physiological race group		洛 10 类群 Lovrin 10 group		Hybrid 46 类群 Hybrid 46 group				水源 11 类群 Suwon 11 group				贵农 22 类群 Guinong 22 group			
	CYR23	CYR25	CYR28	洛 10-2 Lov 10-2	CYR30	CYR31	CYR32	Hy-4	Su11-2	Su11-9	Su11-10	Su11-13	CYR33	CYR34	贵农 22-13	贵农 22-14
Trigo Eureka	S	SR	S	S	S	S	S	SR	S	S	R	S	RS	S	R	S
Fulhard	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
保春 128 Baochun 128	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
南大 1429 Nanda 1429	S	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	S
维尔 Virgilio	R	S	S	R	S	S	S	S	S	S	R	R	SR	S	R	S
阿勃 Abo	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
旱洋 Hanyang	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
阿夫 Funo	S	SR	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
丹麦 1 号 Danish 1	S	SR	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
尤皮 2 号 Jubilejina II	R	R	R	R	R	R	S	S	R	S	R	S	S	S	S	S
丰产 3 号 Fengchan 3	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
洛夫林 13 Lovrin 13	R	R	R	R	S	S	S	R	R	S	R	R	S	S	S	S
抗引 655 Kangyin 655	R	R	R	R	R	R	S	S	R	S	R	R	S	S	S	S
水源 11 Suwon 11	R	R	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
中四 Zhongsi	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	S
洛夫林 10 Lovrin 10	R	R	S	S	S	S	S	S	R	S	R	R	S	S	S	R
Hybrid 46	R	R	R	R	S	S	S	S	R	R	R	R	R	S	S	R
<i>T. spelta album</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
贵农 22 Guinong 22	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	S

R: 抗病; S: 感病。

R: Resistant; S: Susceptible.

## 2.4 毒性频率分析

对Yr9基因有毒力的标样监测到53份,对Yr3a+4b基因有毒力的标样监测到41份,对Yr10基因有毒力的标样监测到28份。由表5可知,小麦条锈菌在携带抗条锈基因Yr1、YrA、Yr3、Yr6、YrVir1-4、YrSu和Yr9的载体品种上的毒性频率均在70%以上,说明这些抗性基因在昭苏县基本失效,而在携带抗条锈基因Yr3b+4b、YrJul-4、Yr1和YrKyl-4、Yr10和Yr24/26、Yr5载体品种上的毒性频率分别为63.08%、56.92%、55.38%、44.61%、0%,是抗病育种时值得关注的抗病基因,同时表明该地区小麦条锈菌群体的毒性基因类型多样。

表5 65个小麦条锈菌标样的毒性基因及毒性频率

Table 5 Virulence genes and the frequency of 65 isolates

鉴别寄主 Differential host	抗条锈基因 Resistant gene	毒性频率 Frequency of virulence/%
Fulhard	Yr+	100
保春 128 Baochun 128	Yr+	100
阿勃 Abo	Yr+	100
早洋 Hanyang	Yr+	100
阿夫 Funo	YrA+	100
丹麦 1号 Danish 1	Yr3	100
丰产 3号 Fengchan 3	Yr1	100
南大 1429 Nanda 1429	Yr+	86.15
Trigo Eureka	Yr6	84.61
维尔 Virgilio	YrVir1-4	80.00
水源 11 Suwon 11	YrSu	78.46
洛夫林 13 Lovirn 13	Yr9+	73.85
洛夫林 10 Lovrin 10	Yr9, Yr+	73.85
Hybrid 46	Yr3b+4b	63.08
尤皮 2 Jubilejina II	YrJul-4	56.92
抗引 655 Kangyin 655	Yr1, YrKyl-4	55.38
贵农 22 Guinong 22	Yr10, Yr24/26	44.61
中四 Zhongsi	Yr+	9.23
<i>T. spelta album</i>	Yr5	0

## 3 讨论

新疆昭苏县是伊犁河谷小麦种植区的重要组成部分,小麦条锈病是当地小麦的主要病害。同时昭苏县作为小麦条锈菌的越冬和越夏地区,极易因为条锈菌发生突变产生毒力更强的生理小种,而导致部分小麦品种抗病性丧失,引发条锈病的发生和流行,造成小麦严重减产。前人主要针对伊犁新源、巩留等地的小麦条锈菌生理小种进

行研究,对昭苏县的小麦条锈菌生理小种情况研究较少,根据前人对新疆伊犁河谷地区其他县市的研究发现,新疆小麦条锈菌的致病类群和内地趋于一致,但是条锈菌的变异流行趋势落后于全国<sup>[12-13]</sup>。

本研究从新疆昭苏县采集并分离得到74份小麦条锈菌菌株,利用19个中国鉴别寄主进行生理小种鉴定,其中共监测16个生理小种,还有9份小麦条锈菌菌株未归类,可能是新的毒性菌系,值得我们持续监测。在本研究中昭苏县小麦条锈菌的优势类群为贵农22类群,其中CYR34出现频率最高达到21.62%,因此CYR34已成为昭苏县小麦条锈菌主流小种。与刘琦研究结果对比发现,新源县水源11类群的占比在增加,CYR32和CYR33的发生频率相对有所下降。2018年新源县小麦条锈菌生理小种鉴定发现Hybird46类群、水源11类群和贵农22类群生理小种为优势类群,CYR32和CYR33出现频率较高<sup>[14]</sup>。2009年在四川首次发现小麦条锈菌CYR34,具有毒性谱宽、致病力强、寄主适合度高等特点,所占比例逐年升高,已经成为中国多个省份流行的生理小种<sup>[15-16]</sup>。由于本次试验采样时间较晚,样品主要集中在昭苏县春小麦,因此也要考虑地域差异、间隔时间、气候差异及采样小麦条锈菌自身的寄主适合度对该鉴定结果的影响。研究结果对伊犁河谷地区小麦条锈病及小麦抗性基因的合理布局提供参考依据。昭苏县小麦抗条锈基因Yr1、YrA、Yr3、Yr6、YrVir1-4、Yr9和YrSu丧失了抗性,品种布局和抗病育种应该避免这些基因的使用。与前人对伊犁河谷地区其他地区研究结果对比分析发现,毒性基因V9和V10, V24/26呈持续增长趋势,仍是目前对伊犁河谷地区小麦最具有威胁的小麦条锈菌致病基因,应引起高度警惕<sup>[17]</sup>。

今后应注意加强对CYR32、CYR34表现抗性的小麦品种选育并开展替代品种的种植,以减轻条锈病危害。分析当地小麦条锈菌主要流行小种是预测该地区小麦条锈病发生流行的重要前提,对伊犁河谷地区的小麦条锈病的预测预报及抗病品种布局具有重要意义,保证国家粮食安全<sup>[18-19]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 马占鸿. 中国小麦条锈病研究与防控[J]. 植物保护学报, 2018, 45(1): 1.  
MA Z H. Researches and control of wheat stripe rust in China

- [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(1):1.
- [2] 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.  
CHEN W Q, KANG Z S, MA Z H, *et al.* Integrated management of wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(20):4254
- [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.  
HAN D J, KANG Z S. Current status and future strategy in breeding wheat for resistance to stripe rust in China [J]. *Plant Protection*, 2018, 44(5):1
- [4] 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, 2004, 34(5):455.  
MA Z H, SHI S D, JIANG Y Y, *et al.* Climate-based regional classification for overwintering of *Puccinia striiformis* in China with GIS [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2005(3).
- [5] 马占鸿, 石守定, 王海光, 等. 我国小麦条锈病菌越冬又越夏地区的气候区划[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005(S1):11.  
MA Z H, SHI S D, WANG H G, *et al.* Climatic division of both winter and summer area of wheat stripe rust in China [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2005(S1):11.
- [6] 梁双喜, 吴淑轩, 张思卿, 等. 基于 GIS 的新疆小麦条锈病菌越冬区划研究[J]. 中国植保导刊, 2023, 43(6):31.  
LIANG S X, WU S X, ZHANG S Q, *et al.* A GIS based study on wheat stripe rust overwintering zoning in Xinjiang [J]. *China Plant Protection*, 2023, 43(6):31.
- [7] 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.  
KANG Z S, WANG X J, ZHAO J, *et al.* Advances in research of pathogenicity and virulence variation of the wheat stripe rust fungus *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17):3439.
- [8] 刘琦, 陈利, 曾明昊, 等. 新疆伊犁州小麦条锈菌生理小种鉴定及毒性分析[J]. 植物保护, 2022, 48(5):314.  
LIU Q, CHEN L, ZENG M H, *et al.* Physiological race identification and virulence analysis of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Yili prefecture, Xinjiang [J]. *Plant Protection* 2022, 48(5):314.
- [9] 曾明昊, 吕振豪, 郑明远, 等. 新疆伊犁地区小麦条锈菌群体遗传结构分析[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(1):127.  
ZENG M H, LÜ Z H, ZHENG M Y, *et al.* Analysis of population genetic structure of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Yili Prefecture, Xinjiang [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2024, 44(1):127.
- [10] ZHANG M, SAIMI A, LIU Q, *et al.* The detection of Yr genes in Xinjiang wheat cultivars using different molecular markers [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(17):13372.
- [11] 陈万权, 刘太国, 陈巨莲, 等. NY/T 1443. 1-2007, 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 [S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2007:7
- CHEN W Q, LIU T G, CHEN J L, *et al.* NY/T 1443. 1-2007, Technical specification for evaluation of wheat resistance to pests and diseases-Part 1: Technical specification for evaluation of wheat stripe rust resistance [S]. Bei Jing; The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2007:7
- [12] 王付平. 新疆小麦条锈菌群体毒性和分子多样性分析及与中国西部其他流行区间的关系[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015:61.  
WANG F P. Virulence and molecular diversity analysis of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* population in Xinjiang in relation to other epidemic regions of western China [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015:61.
- [13] 李伟华. 新疆新源县小麦和异果小檗锈病发生情况调查与遗传多样性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2016:68.  
LI W H. Investigation on occurrence and genetic diversity of wheat and Berberis heterocarpis rust in Xinyuan county, Xinjiang [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016:68.
- [14] 刘琦, 马泽宇, 曾明昊, 等. 新疆新源县小麦条锈菌生理小种鉴定[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(1):36.  
LIU Q, MA Z Y, ZENG M H, *et al.* Identification of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* physiological races in Xinyuan County, Xinjiang [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(1):36.
- [15] 黄瑾, 贾秋珍, 张勃, 等. 小麦条锈病菌新菌系 G22-9 (CYR34) 和 G22-14 流行趋势预测 [J]. 植物保护学报, 2018, 45(1):101.  
HUANG J, JIA Q Z, ZHANG B, *et al.* Epidemic forecasting of the new strains G22-9 (CYR34) and G22-14 of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat in Gansu Province [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(1):101.
- [16] 刘博, 刘太国, 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.  
LIU B, LIU T G, ZHANG Z Y, *et al.* Discovery and pathogenicity of CYR34, a new race of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2017, 47(5):681.
- [17] 何海明, 陈彩红, 彭慧芬, 等. 伊犁河谷小麦条锈菌生理小种变异监测结果[J]. 农村科技, 2014(3):41.  
HE H M, CHEN C H, PENG H F, *et al.* Monitoring results of physiological variation of wheat stripe rust in Yili Valley [J]. *Rural Science & Technology*, 2014(3):41.
- [18] 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.  
WU L R, NIU Y C. Strategies of sustainable control of wheat stripe rust in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(5):46.
- [19] 詹刚明, 王建锋, 王晓杰, 等. 中国小麦条锈菌生理小种演化及遗传重组[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9):1815.  
ZHANG M, WANG J F, WANG X J, *et al.* Evolution and genetic recombination of physiological races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(9):1815.