

# 小麦条锈菌 ZS 有性与无性菌系毒性差异初步分析

贾秋珍<sup>1,2,3</sup>, 曹世勤<sup>2,3,4</sup>, 张 勃<sup>1,2,3</sup>, 孙振宇<sup>1,2,3</sup>, 王万军<sup>5</sup>, 黄 瑾<sup>1,2,3</sup>,  
骆惠生<sup>1,2,3</sup>, 李青青<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. 甘肃省农业科学院小麦研究所, 甘肃 兰州 730070; 5. 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:** 小麦条锈病是小麦生产上最主要的病害, 条锈菌毒性不断变异是造成小麦条锈病频繁发生和小麦品种抗病性丧失的主要原因。对小麦条锈菌新菌系开展品种抗病性评价, 并探明条锈菌有性菌系、无性菌系间的毒性差异, 为科学、超前指导小麦抗病育种和抗病品种的合理布局应用提供技术支撑。2017—2021 年从 454 个小麦条锈菌有性菌系和 1 728 个无性菌系中, 获得 ZS 有性菌系 35 个和无性菌系 167 个, 占比分别为 7.71% 和 9.66%; 其中已归类 ZS-1、ZS-18、ZS-52 类型中有有性菌系 14 个、无性菌系 72 个, 占比分别为 3.08% 和 4.17%。2022 年选择 ZS 有性与无性菌系重要类型混合菌, 对 76 个甘肃省内小麦生产品种进行苗期、成株期接种鉴定, 结果发现, 有性 ZS 菌系与无性 ZS 菌系对供试小麦品种苗期致病力分别为 97.37%、92.11%, 相对寄生适合度分别为 0.353 0、0.248 7; 成株期致病力分别为 72.37%、71.05%, 相对寄生适合度分别为 0.362 7、0.184 0。表明有性菌系致病性和寄生适合度均高于无性菌系。建议在陇南越夏区, 及早调整小麦抗病育种目标, 以持续控制条锈病的发生流行, 保障粮食安全。

**关键词:** 小麦条锈菌; ZS 有性菌系; ZS 无性菌系; 致病性; 寄生适合度

**中图分类号:** S435.121.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2023)01-0074-04

**doi:** 10.3969/j.issn.2097-2172.2023.01.017

## Analysis of Virulent Difference of Sexual and Asexual ZS type of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*

JIA Qiuzhen<sup>1,2,3</sup>, CAO Shiqin<sup>2,3,4</sup>, ZHANG Bo<sup>1,2,3</sup>, SUN Zhenyu<sup>1,2,3</sup>, WANG Wanjun<sup>5</sup>, HUANG Jin<sup>1,2,3</sup>,  
LUO Huisheng<sup>1,2,3</sup>, LI Qingqing<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, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Gangu Gansu 741200, China; 4. Wheat Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 5. Green Agronomic Centre, Tianshui Agricultural Sciences, Gangu Gansu 741200, China)

**Abstract:** Wheat stripe rust is a major disease in wheat production, the continuous variation of stripe rust virulence is the main reason for the frequent occurrence of wheat stripe rust and the loss of resistance in wheat varieties. Analysis of virulent difference of sexual and asexual types of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* is the foundation of disease-resistance breeding in wheat. 454 sexual isolates and 1 728 asexual isolates of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* (*Pst*) were collected during 2017 to 2021. 35 single sexual isolates and 167 asexual isolates were obtained of ZS *Pst*, which accounted for 7.71% of sexual isolates and 9.66% of asexual isolates, respectively. The major known types included ZS-1, ZS-18 and ZS-52 with 14 sexual isolates and 72 asexual isolates included, which accounted for 3.08% of sexual isolates and 4.17% of asexual isolates, respectively. In 2022, inoculation of typical sexual isolates and asexual mixed isolates of ZS *Pst* to 76 commercial wheat varieties of Gansu Province at seedling and adult stages was conducted. The results showed that the pathogenicity was 97.37% and 92.11% at seedling stage, and was 72.37% and 71.05% at adult stage for sexual isolates and asexual isolates of ZS *Pst*, respectively. The relative parasitic fitness was 0.353 0 and 0.248 7 at seedling stage, and was 0.362 7 and 0.184 0 at adult stage for sexual isolates and asexual isolates of ZS *Pst*, respectively. The value of pathogenicity and relative parasitic fitness of sexual isolates of ZS were higher than those in asexual isolates of ZS. Therefore, adjusting the target in wheat breeding in Longnan over-summering area of *Pst* ought to be encouraged to ensure the safety of wheat production in Gansu and China in the future.

**Key words:** *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*; Sexual isolate of ZS; Asexual isolate of ZS; Pathogenicity; Relative parasitic fitness

收稿日期: 2022-09-13; 修订日期: 2022-10-15

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1401001); 国家自然科学基金 (31860484); 甘肃省农业科学院生物育种专项 (2022GAAS06); 金城科普专家项目。

作者简介: 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。

小麦条锈病由禾谷柄锈菌小麦专化型中国小麦条锈菌(*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*)引致, 是发生于陇南越夏区、甘肃省及中国小麦生产上最主要的病害, 也是世界小麦生产上最主要的病害之一<sup>[1-3]</sup>。条锈菌毒性不断变异是造成小麦条锈病频繁发生和小麦品种抗病性丧失的主要原因<sup>[1-2, 4-9]</sup>。对新菌系开展品种抗病性评价, 是明确品种利用价值的基础性工作<sup>[1, 10-11]</sup>。研究发现, 小麦条锈菌不仅可在主要寄主小麦上完成无性生殖, 还可在转主寄主小檗或十大功劳上完成有性生殖<sup>[12-14]</sup>。尽管前人在新菌系致病性和寄生适合度方面开展了诸多研究<sup>[15-16]</sup>, 但针对同一有性和无性菌系间的差异, 目前国内外鲜见报道。基于此, 甘肃省农业科学院植物保护研究所小麦锈菌研究团队于 2022 年在兰州温室和甘谷试验站, 进行了 76 个甘肃省小麦生产品种对供试条锈菌 ZS 有性、无性菌系的苗期和成株期抗病性评价, 旨在探明条锈菌有性菌系、无性菌系间的毒性差异, 为科学、超前指导小麦抗病育种和抗病品种的合理布局应用提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试的 76 个甘肃省小麦生产品种及对照品种铭贤 169、条锈菌 ZS 有性菌系和无性菌系均由甘肃省农业科学院植物保护研究所小麦病害课题组收集并提供(表 1、表 2)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 条锈菌 ZS 菌系分离鉴定 对采集到不同区域不同种类的感病小檗或感病小麦叶片, 在甘肃省农业科学院植物保护研究所兰州温室进行分离鉴定。具体参照贾秋珍等<sup>[5-8]</sup>的方法进行。

1.2.2 苗期和成株期接种鉴定 苗期和成株期播种、接种鉴定参照曹世勤等<sup>[17]</sup>的方法进行。病情[反应型/严重度(%)/普遍率(%)]记载参照 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》进行, 其中反应型分级采用 0、0<sub>1</sub>、1、2、3、4 共 6 级标准, 严重度采用 0、t、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100% 共 9 级标准, 普遍率采用 0、t、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% 共 13 级标准<sup>[1]</sup>。

### 1.3 数据分析

致病率 = (感病品种数/所测全部品种数) × 100%。

寄生适合度将反应型折合成权重值, 即 0 型和 0<sub>1</sub> 型赋值均为 0, 1 型赋值为 0.01, 2 型赋值为 0.15, 3 型赋值为 0.53, 4 型赋值为 1.00, 与严重度与普遍率的积除以对照品种相对应的值, 获得供试菌系在各品种上的相对寄生适合度。为了便于从总体上比较, 根据各生理小种在品种上的相对寄生适合度计算出其平均相对寄生适合度值并进行分析<sup>[5, 18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 条锈菌 ZS 菌系鉴定结果

2017—2021 年分别对各年度获得的条锈菌有性和无性菌系进行毒性分析, 发现 5 年间从 454 个有性菌系和 1 728 个无性菌系中分别监测出有性和无性 ZS 菌系 35、167 个, 分别占 7.71%、9.66%。其中已归类菌系有 ZS-1、ZS-18、ZS-52, 有性菌系和无性菌系分别有 14、72 个, 分别占 3.08%、4.17%(表 1)。各菌系致病特点为 ZS-1 与条中 34 号相同, 只是对鉴别寄主中四致病; ZS-18 与条中 32 号相同, 只是对中四致病; ZS-52 与条中 33 号相同, 只是对中四致病; 贵 22-14(中四感)与贵 22-14 相同, 只是对中四致病; 贵 22-108(中四感)与贵 22-108 相同, 只是对中四致病; 洛 13Ⅷ(中四S)与洛 13Ⅷ相同, 只是对中四致病。

表 1 2017—2021 年有性、无性 ZS 菌系监测结果

年份/年	有性菌系数/无性菌系数/个	不同致病类型的有性菌系数/无性菌系数/个							合计 有性/无性	有性菌系数/无性菌系数所占比率/%
		ZS-1 有性/无性	ZS-18 有性/无性	ZS-52 有性/无性	贵22-14 (中四S) 有性/无性	贵22-108 (中四S) 有性/无性	洛13Ⅷ (中四S) 有性/无性	ZS 其他 有性/无性		
2017	32/276	0/9	1/3	1/2	0/0	0/0	0/0	4/27	6/41	18.75/14.85
2018	24/296	1/22	0/7	0/0	0/0	0/0	0/0	2/12	3/41	12.50/13.85
2019	178/158	1/11	0/2	0/3	1/0	0/0	1/0	10/20	13/36	7.30/22.78
2020	127/503	4/3	3/2	1/4	0/1	1/1	0/0	1/27	10/38	7.87/7.55
2021	93/495	2/2	0/2	0/0	0/0	0/0	0/0	1/7	3/11	3.23/2.22
合计	454/1 728	8/47	4/16	2/9	1/1	1/1	1/0	18/93	35/167	
比率%		1.76/2.72	0.88/0.93	0.44/0.52	0.22/0.06	0.22/0.06	0.22/0	3.96/5.38	7.71/9.66	

## 2.2 致病性

2022 年, 在甘肃省农业科学院植物保护研究所兰州温室和甘谷试验站对 76 个甘肃省小麦生产品种分别接种条锈菌 ZS 有性菌系和无性菌系, 进行苗期、成株期抗病性评价, 结果发现苗期小麦感病品种数分别为 74、70 个, 对供试小麦品种的致病力分别为 97.37%、92.11%; 成株期感病小麦品种数分别为 55、54 个, 对供试小麦品种的致病力分别为 72.37%、71.05%。由此可见, 无论在苗期还是成株期, ZS 有性菌系致病性均高于无性菌系。

## 2.3 寄生适合度

分析 2022 年各供试小麦品种的苗期、成株期的测定结果, 发现条锈菌 ZS 有性、无性菌系在苗期和成株期对 76 个甘肃省小麦生产品种的相对寄生适合度有一定差异。其中苗期条锈菌 ZS 有性、

无性菌系对供试品种的相对寄生适合度为 0.353 0 和 0.248 7, 成株期分别为 0.362 7 和 0.184 0。有性菌系寄生适合度高于无性菌系(表2)。

## 3 讨论与结论

条锈菌 ZS 菌系为近年来监测到的、对鉴别寄主中四感染的新菌系<sup>[19]</sup>。2017—2021 年从 454 个小麦条锈菌有性菌系和 1 728 个无性菌系中, 获得 ZS 有性菌系 35 个和无性菌系 167 个, 占比分别为 7.71%和 9.66%; 其中已归类 ZS-1、ZS-18、ZS-52 类型中有有性菌系 14 个、无性菌系 72 个, 占比分别为 3.08%和 4.17%。2022 年对 76 个甘肃省内小麦生产品种选择 ZS 有性菌系和无性菌系进行接种鉴定, 结果发现, 有性 ZS 菌系对供试小麦品种苗期致病力分别为 97.37%、92.11%, 相对寄生适合度分别为 0.353 0、0.248 7; 成株期致病力分别为

表 2 供试条锈菌 ZS 有性、无性菌系苗期和成株期对 76 个甘肃省小麦生产品种的相对寄生适合度

序号	品种名称	苗期		成株期		序号	品种名称	苗期		成株期	
		ZS 无性菌系	ZS 有性菌系	ZS 无性菌系	ZS 有性菌系			ZS 无性菌系	ZS 有性菌系	ZS 无性菌系	ZS 有性菌系
1	兰天 19 号	0.066 3	0.265 0	0.008 8	0.150 0	40	中梁 43 号	0.132 5	0.265 0	0.000 0	0.000 0
2	兰天 23 号	0.132 5	0.265 0	0.002 5	0.150 0	41	中梁 44 号	0.066 3	0.132 5	0.000 0	0.000 0
3	兰天 30 号	0.000 0	0.265 0	0.282 7	0.750 0	42	中梁 45 号	0.066 3	0.132 5	0.000 0	0.000 0
4	兰天 35 号	0.066 3	0.132 5	0.070 7	0.250 0	43	陇育 8 号	0.397 5	0.265 0	0.353 3	0.750 0
5	兰天 36 号	0.000 0	0.265 0	0.000 0	0.000 0	44	陇育 12 号	0.530 0	0.397 5	0.530 0	0.750 0
6	兰天 37 号	0.265 0	0.397 5	0.000 0	0.000 0	45	陇育 13 号	0.132 5	0.265 0	0.706 7	1.000 0
7	兰天 39 号	0.000 0	0.265 0	0.141 3	0.141 5	46	武都 23 号	0.265 0	0.397 5	0.706 7	0.750 0
8	兰天 40 号	0.132 5	0.397 5	0.176 7	0.042 5	47	宁麦 14 号	0.265 0	0.265 0	0.706 7	0.750 0
9	兰天 42 号	0.009 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	48	陇麦 838	0.265 0	0.397 5	0.176 7	0.250 0
10	兰天 45 号	0.000 0	0.037 5	0.000 0	0.000 0	49	陇麦 898	0.265 0	0.265 0	0.088 3	0.750 0
11	兰天 653	0.265 0	0.132 5	0.000 0	0.000 0	50	灵选 6 号	0.530 0	0.265 0	0.176 7	0.005 3
12	兰天 575	0.066 3	0.265 0	0.000 0	0.037 5	51	西平 1 号	0.265 0	0.750 0	0.353 3	0.750 0
13	陇原 235	0.265 0	0.397 5	0.000 0	0.000 0	52	陇中 9 号	0.530 0	0.750 0	0.353 3	0.500 0
14	兰天 133	0.066 3	1.000 0	0.007 5	0.056 6	53	长 6878	0.265 0	0.397 5	0.353 3	0.500 0
15	兰天 131	0.265 0	0.265 0	0.061 8	0.000 0	54	中麦 175	0.132 5	0.530 0	0.176 7	0.500 0
16	兰天 134	0.265 0	0.750 0	0.035 3	0.000 0	55	陇鉴 113	0.530 0	0.530 0	0.044 2	0.000 0
17	兰航选 151	0.265 0	0.066 3	0.000 0	0.000 0	56	陇鉴 114	0.265 0	0.397 5	0.000 0	0.000 0
18	天选 45 号	0.397 5	0.265 0	0.176 7	0.500 0	57	陇鉴 115	0.265 0	0.397 5	0.000 0	0.050 0
19	天选 46 号	0.265 0	0.265 0	0.008 8	0.250 0	58	陇鉴 117	0.397 5	0.500 0	0.353 3	0.012 5
20	天选 49 号	0.132 5	0.500 0	0.061 8	0.250 0	59	陇鉴 385	0.265 0	0.132 5	0.000 0	0.025 0
21	天选 50 号	0.265 0	0.265 0	0.088 3	0.500 0	60	陇鉴 9825	0.397 5	0.265 0	0.026 5	0.025 0
22	天选 52 号	0.265 0	0.750 0	0.530 0	0.750 0	61	中植 6 号	0.013 3	0.033 1	0.000 0	0.350 0
23	天选 53 号	0.132 5	0.500 0	0.353 3	0.500 0	62	定西 42 号	0.066 3	0.066 3	0.000 0	0.087 5
24	天选 54 号	0.265 0	0.265 0	0.070 7	0.250 0	63	定西 50 号	0.530 0	0.265 0	0.176 7	0.750 0
25	天选 55 号	0.265 0	0.500 0	0.061 8	0.500 0	64	定丰 21	0.265 0	0.265 0	0.353 3	1.000 0
26	天选 55 号	0.132 5	0.265 0	0.353 3	0.062 5	65	甘春 31 号	0.265 0	0.397 5	0.176 7	0.500 0
27	天选 57 号	0.397 5	0.265 0	0.088 3	0.250 0	66	临麦 37 号	0.066 3	0.265 0	0.088 3	0.500 0
28	天选 61 号	0.132 5	0.132 5	0.123 7	0.250 0	67	临麦 40 号	0.132 5	0.265 0	0.001 3	0.125 0
29	天选 63 号	0.265 0	0.265 0	0.176 7	0.500 0	68	甘育 5 号	0.132 5	0.397 5	0.353 3	0.500 0
30	天选 65 号	0.066 3	0.265 0	0.005 0	0.000 0	69	甘育 8 号	0.500 0	0.265 0	0.353 3	1.000 0
31	天选 66 号	0.265 0	0.132 5	0.070 7	0.070 8	70	张春 27	0.750 0	0.265 0	0.530 0	1.000 0
32	天选 68 号	0.265 0	0.265 0	0.088 3	0.250 0	71	高原 619	0.500 0	0.750 0	0.353 3	0.750 0
33	天选 69 号	0.066 3	0.750 0	0.070 7	0.500 0	72	会宁 22	0.132 5	0.750 0	0.070 7	0.500 0
34	天选 70 号	0.265 0	0.750 0	0.061 8	0.012 5	73	酒春 13	0.132 5	0.265 0	0.530 0	1.000 0
35	天选 71 号	0.132 5	0.265 0	0.353 3	0.500 0	74	武春 11	0.397 5	0.265 0	0.353 3	0.750 0
36	中梁 31 号	0.132 5	0.066 3	0.000 0	0.000 0	75	西早 2 号	0.265 0	0.397 5	0.088 3	1.000 0
37	中梁 32 号	0.265 0	0.397 5	0.044 2	0.500 0	76	陇春 41 号	1.000 0	0.750 0	0.530 0	0.750 0
38	中梁 40 号	0.265 0	0.265 0	0.530 0	1.000 0	77	铭贤 169(CK)	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
39	中梁 42 号	0.009 4	0.265 0	0.000 0	0.025 0		平均	0.248 7	0.353 0	0.184 0	0.362 7

72.37%、71.05%，相对寄生适合度分别为 0.362 7、0.184 0。从初步的研究结果看，ZS 有性、无性菌系对供试小麦生产品种的致病力在苗期、成株期分别达 92.00%和 71.00%以上，表明甘肃省主要小麦生产品种对其抵抗力较弱；苗期、成株期相对寄生适合度在 0.24 和 0.18 以上，表明条锈菌 ZS 菌系具有较高的潜在风险。建议在今后的工作中，密切监测其消长动态，关注条锈菌 ZS 菌系的分化。在陇南条锈菌越冬区，超前开展抗病基因挖掘和抗病品种布局研究与利用，将是治本之策。

分析鉴定结果发现，条锈菌 ZS 有性、无性菌系仅对鉴别寄主 *T. Spelta album* (Yr5) 没有致病性，因此强化对 *T. Spelta album* (Yr5) 材料及其他优异材料的应用是下一步工作的重点。在此基础上，加强对条锈菌 ZS 菌系及当前条中 34 号、条中 32 号等主要流行小种抗病性表现优异的抗源筛选及新基因挖掘与利用，持续不断解决甘肃陇南小麦抗锈种质资源匮乏的“卡脖子”技术，可为持续控制该区域小麦条锈病发生流行，保障国家粮食生产安全提供技术支撑。

分析条锈菌 ZS 有性菌系与无性菌系苗期、成株期对供试品种致病性力，表明有性菌系的致病性和相对寄生适合度均略高于无性菌系，虽然总体差异性不大，但在部分品种上有较大差异，如对兰天 30 号、兰天 36 号，在苗期时条锈菌 ZS 无性菌系对其没有致病性，但有性菌系对其致病性较高；兰天 575、中梁 42 号、陇鉴 115，在成株期时条锈菌 ZS 无性菌系对其没有致病性，但有性菌系对其具有较高的致病性。建议在陇南越冬区，及早调整小麦抗病育种目标，进一步加强条锈菌 ZS 有性、无性菌系的监测预警研究，这将对陇南越冬区条锈病发生流行的持续控制起到极好的推动作用，对保障黄淮海麦区小麦安全生产，助力小麦产业绿色高质量发展意义重大<sup>[19]</sup>。

#### 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: 3.
- [2] 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.
- [3] CHEN X M. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat[J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2005, 27(3): 314-337.
- [4] CHEN W Q, WELLINGS C, CHEN X M, et al. Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* [J]. Molecular Plant Pathology, 2014, 15(5): 433-446.
- [5] 贾秋珍, 金社林, 曹世勤. 小麦条锈菌生理小种条中 32 号及水源 14 致病类型在甘肃的流行与发展趋势[J]. 植物保护学报, 2007, 34(3): 263-267.
- [6] 贾秋珍, 黄瑾, 曹世勤, 等. 感染我国重要小麦抗源材料贵农 22 的条锈菌新菌系的发现及致病性初步分析[J]. 甘肃农业科技, 2012(1): 3-5.
- [7] 贾秋珍. 2004 年甘肃省小麦条锈菌生理小种变异监测[J]. 甘肃农业科技, 2005(11): 45-47.
- [8] 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): 48-50.
- [9] 刘天国, 王保通, 贾秋珍, 等. 2010—2011 年度我国小麦条锈菌生理专化研究[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(3): 574-578.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] JIN Y, 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.
- [13] ZHAO J, WANG M N, CHEN X M, et al. Role of alternate hosts in epidemiology and pathogen variation of cereal rust[J]. Annual Review of Phytopathology, 2016, 54: 207-228.
- [14] 贾秋珍, 张勃, 曹世勤, 等. 2017—2021 年陇南条锈菌有性菌系毒性结构分析[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 94-98.
- [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): 101-108.
- [16] 李强, 夏滔, 李佼佼, 等. 感染“中四”小麦条锈菌 T4 新菌系的致病范围测定[J]. 植物病理学报, 2011, 41(6): 601-604.
- [17] 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): 1360-1370.
- [18] 宋位中, 张忠军. 小麦品种×条锈菌生理小种适合度测定方法研究[J]. 北京农业大学学报, 1990(S): 170-173.
- [19] 曹世勤, 贾秋珍, 鲁清林, 等. 甘肃陇南越冬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.