

调 查 研 究

Investigations

湖北省小麦品种(系)对赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病的抗性评价

朱 光¹, 彭 敏², 刘 健³, 邹贤斌³, 汪 华⁴,
杨立军^{4*}, 高春保¹, 刘易科^{1*}

(1. 湖北省农业科学院粮食作物研究所, 武汉 430064; 2. 湖北省十堰市农业科学院, 十堰 442700;

3. 湖北省随州市随县农业科学研究所, 随州 431500; 4. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

摘要 为了解湖北省小麦品种(系)的抗病性水平,对2001年以来湖北省审定的46个小麦品种和在湖北省进行区域试验的447份小麦品系进行赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病等4种主要病害的抗病性评价。结果表明:1)参试品系中有1份材料对赤霉病表现高抗,未发现对纹枯病表现高抗或免疫的材料;对赤霉病和纹枯病的平均抗性评价分值分别为14.30和3.49,介于中感和高感之间;对条锈病和白粉病的平均抗性评价分值分别为13.43和8.34,介于中抗和中感之间。2)审定品种的综合抗性水平不高,对条锈病的抗性评价分值为12.47,介于中抗和中感之间,对其他3种病害的抗性介于中感和高感之间;审定品种的单产呈增加趋势,株高在不断降低,生育期相应延长,综合抗病性也在增强。3)审定品种的综合抗病性与对条锈病抗性的相关系数最高,为0.738;对纹枯病的抗性与株高呈显著正相关,与单产呈显著负相关;对赤霉病的抗性与株高无显著相关。鉴于此,湖北省需加强抗病育种力度,同时应充分做好小麦病害的防控。

关键词 湖北; 小麦; 品种; 抗病性; 真菌病害

中图分类号: S 435.121.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019145

Evaluation on resistance of wheat varieties (lines) to *Fusarium* head blight, stripe rust, powdery mildew and sharp eyespot in Hubei province

ZHU Guang¹, PENG Min², LIU Jian³, ZOU Xianbin³, WANG Hua⁴,
YANG Lijun^{4*}, GAO Chunbao¹, LIU Yike^{1*}

(1. Food Crops Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. Shiyan Academy of Agricultural Sciences, Shiyan 442700, China; 3. Suixian Academy of Agricultural Sciences, Suizhou City, Hubei Province, Suizhou 431500, China; 4. Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract To assess the disease resistance level of wheat varieties (lines) in Hubei province, resistance of 46 wheat varieties authorized in Hubei province and 447 wheat lines tested in regional trials in Hubei since 2001 to four major diseases, including *Fusarium* head blight (FHB), stripe rust, sharp eyespot and powdery mildew were evaluated. Only one of the tested lines showed high resistance to FHB, and no line was highly resistant or immune to sharp eyespot. The average resistance score of the tested lines against FHB and sharp eyespot were 14.30 and 3.49, respectively, showing moderate to high susceptibility. The average resistance score of the tested lines to stripe rust and powdery mildew were 13.43 and 8.34, respectively, expressing moderate resistance to moderate susceptibility. The comprehensive resistance level of the authorized wheat varieties were not high, it showed moderate resistance to moderate susceptibility to stripe rust with average resistance score of 12.47, and moderate to high susceptibility to the other three diseases. The authorized wheat varieties demonstrated the tendency of

收稿日期: 2019-03-22 修订日期: 2019-05-28

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0100800);湖北省技术创新专项(2018ABA085);国家小麦产业技术体系武汉综合试验站(CARS-03);湖北省农业科技创新中心资助项目

* 通信作者 E-mail: 杨立军 yanglijun1993@163.com; 刘易科 hbliuyk@foxmail.com

increased yield, decreased plant height, extended growth period and enhanced comprehensive disease resistance. The authorized wheat varieties showed the highest correlation coefficient of 0.738 between the comprehensive disease resistance and stripe rust resistance. There are significant positive correlation between sharp eyespot resistance and plant height, and negative correlation between sharp eyespot and yield, while no correlation between FHB resistance and plant height. Thus, to strengthen wheat resistance breeding for disease and management of wheat diseases is necessary in Hubei province.

Key words Hubei; wheat; variety; disease resistance; fungal disease

小麦是湖北省仅次于水稻的第二大粮食作物。据湖北省统计年鉴数据,近年小麦每年种植面积稳定在 107 万 hm^2 以上。湖北地处南北气候过渡带,小麦生育期内降雨频繁,造成多种小麦病害的多发和重发,给湖北小麦生产带来了很大隐患^[1]。目前,赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病是威胁湖北小麦生产的主要真菌病害。小麦赤霉病是由镰孢属 *Fusarium* 真菌引起的一种世界性小麦病害。随着全球气候变暖和秸秆还田等耕作制度以及耕作方式的改变,小麦赤霉病的流行范围不断扩大,流行频率开始增加^[2-3]。赤霉病是湖北麦区的第一大病害,危害严重,因此在湖北省小麦品种审定中,对达不到赤霉病抗性要求的品种实行一票否决制^[4]。小麦条锈病是气传病害,在湖北麦区发生频繁,导致产量损失严重,同时湖北麦区是中国小麦条锈病的重要越冬菌源地和北方麦区条锈病发生的菌源地之一,在全国小麦条锈病大发生中起重要桥梁作用^[5]。小麦白粉病是世界性病害,遍及中国各个麦区,在湖北麦区每年均不同程度发生,常年发生面积 20 万 hm^2 左右,给小麦生产造成严重损失^[6-7]。由于小麦矮秆品种的推广以及麦田肥水条件的不断改善,小麦白粉病发病情况日趋严重^[8]。小麦纹枯病是由土壤传播的世界性病害,可导致 10%~40% 的产量损失^[9-10]。由于气候变暖、氮肥用量增加和耕作方式的改变,纹枯病已成为我国长江中下游麦区和黄淮麦区的主要病害^[11]。

培育和利用抗病品种是防控小麦病害最经济、环保的有效手段。因此,明确湖北小麦品种(系)的综合抗病性,对指导小麦抗病育种和小麦病害防控具有重要意义。本研究对湖北省 2001 年—2018 年间参加区域试验小麦品系和已审定小麦品种的抗病性进行系统评价,以期摸清湖北省小麦品种(系)的抗病性背景和演变,为湖北省小麦抗病育种和小麦病害综合防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦材料为 2001 年以来湖北省审定的小

麦品种 46 个以及在湖北省进行区域试验的小麦品系 447 个。赤霉病抗性鉴定的对照小麦品种为‘苏麦 3 号’(高抗)、“鄂恩 1 号”(中抗)和‘郑麦 98’(感病)。白粉病抗性鉴定的对照小麦品种为‘广源 11-2’(高抗)、“绵麦 37”(高抗)、“鄂恩 1 号”(中抗)和‘郑麦 98’(感病)。条锈病抗性鉴定的对照小麦品种为‘鄂麦 18’(高抗)、“鄂恩 1 号”(中抗)和‘宁麦 9’(感病)。纹枯病抗性鉴定的对照小麦品种为‘绵麦 37’(高抗)、“鄂恩 1 号”(中抗)和‘郑麦 98’(感病)。赤霉菌接种菌株为黄冈 1 号;条锈菌菌株为条中 31、条中 32 和条中 33 的等比例混合菌种;白粉病菌株为 32 个已知毒性菌株的混合体;纹枯病菌株为 64-1。参试品种(系)由各育种单位提供,对照品种和供试菌株由农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室保存。

1.2 抗病性鉴定方法

采用人工接种鉴定的方法。在小麦扬花 10% 时,用分生孢子浓度为 1×10^5 个/mL 悬浮液进行赤霉病喷雾接种,接种后 1 周内每天中午用喷雾器喷水保湿;在小麦拔节期傍晚用混合分生孢子悬浮液进行条锈病喷雾接种,接种后覆膜保湿 15 h;在苗期和返青期于傍晚采用抖接分生孢子的方式进行白粉病接种;在播种时每 667 m^2 撒施 3 kg 室内培养的带菌玉米砂粒进行纹枯病土表下接种。4 种病害鉴定方法和分级标准参照杨立军等^[12]的方法。每个材料播种 2 行,行长 1 m,行距 20 cm。白粉病和条锈病抗性鉴定圃中种植 1 列与待鉴定材料垂直的感病品种作为病害诱发行。田间管理与大田一致。

1.3 抗病性评价和相关性分析

根据湖北省小麦生产中各种病害的发生频率和危害程度,对参加湖北省小麦区域试验的品种(系)对单种病害的抗性以及对 4 种病害的综合抗病性进行量化评分。每个品种(系)满分 100 分(对 4 种病害全部免疫),其中赤霉病占 40 分,条锈病 30 分,白粉病 20 分,纹枯病 10 分。每种病害根据抗性等级分别赋予权重系数,将 4 种病害的分值相加获得该

材料综合抗病性分值。分值高者抗病性好,具体评价标准见表 1。

已审定品种的产量、株高和生育期数据根据两

年区域试验的平均值计算获得,病害鉴定结果参照品种审定公告。利用 Excel 和 SPSS 19.0 对数据进行处理和分析。

表 1 抗病性评价分级¹⁾

Table 1 Scales for assessment of disease resistance

病害名称 Disease	免疫 Immune (1, 0)	高抗 HR (0, 8)	中抗 MR (0, 6)	中感 MS (0, 4)	高感 HS (0, 2)
赤霉病 <i>Fusarium</i> head blight	40	32	24	16	8
条锈病 Stripe rust	30	24	18	12	6
白粉病 Powdery mildew	20	16	12	8	4
纹枯病 Sharp eyespot	10	8	6	4	2

1) HR:高抗; MR: 中抗; MS: 中感; HS: 高感, 下同。“1, 0, 0, 8, 0, 6, 0, 4, 0, 2”表示各抗性水平的权重系数。
HR: Highly resistant; MR: Moderate resistant; MS: Moderate susceptible; HS: Highly susceptible. The same applies below.
“1, 0, 0, 8, 0, 6, 0, 4, 0, 2” represents the weight coefficients of each resistance level.

2 结果与分析

2.1 参试小麦品系对赤霉病的抗性分析

参试的 447 份小麦品系中对赤霉病表现高抗的品系仅 1 份(‘扬 06G86’),占参试品系的 0.22%;表现中抗的品系有 50 份,占参试品系的 11.19%;表现中感的品系有 249 份,占参试品系的 55.70%;表现

高感的品系有 147 份,占参试品系的 32.89%。参试品系对赤霉病抗性的平均分值为 14.30,介于中感和高感之间。2006 年—2010 年间参试品系对赤霉病的抗性较好(平均分值为 16.49),而 2011 年—2015 年间参试品系对赤霉病的抗性较差(平均分值为 12.96),与前期比较,2016 年—2018 年参试品系对赤霉病的抗性水平略好(表 2)。

表 2 参试小麦品系对赤霉病的抗性水平¹⁾

Table 2 Level of tested breeding lines resistance to *Fusarium* head blight

年度 Year	参试品种数/份 No. of tested breeding lines	平均分 Average score	高抗 HR		中抗 MR		中感 MS		高感 HS	
			数量/份		数量/份		数量/份		数量/份	
			No.	占比/% Percentage	No.	占比/% Percentage	No.	占比/% Percentage	No.	占比/% Percentage
2001—2005	67	13.61	0	0.00	8	11.94	31	46.27	28	41.79
2006—2010	98	16.49	1	1.02	21	31.34	59	60.20	17	17.35
2011—2015	161	12.96	0	0.00	3	1.86	94	58.39	64	39.75
2016—2018	121	14.67	0	0.00	18	14.88	65	53.72	38	31.40
总计 Total	447	14.30	1	0.22	50	11.19	249	55.70	147	32.89

1) 播种年度以秋播时间为准,下同。
The tested wheat breeding lines were sown in autumn in each of cropping season, the same applies below.

2.2 参试小麦品系对条锈病的抗性分析

在具有完整条锈病鉴定数据的 427 份小麦品系中,对条锈病免疫的品系有 9 份,占参试品系的 2.11%;表现高抗的品系有 51 份,占参试品系的 11.94%;表现中抗的品系有 113 份,占参试品系的 26.46%;表现中感的品系 114 份,占参试品系的 26.70%;表现高感的品系 140 份,占参试品系的 32.79%。参试品系对条锈病抗性的平均分值为 13.43,介于中抗和中感之间。总体看来,除 2001 年—2005 年外,参试品系对条锈病抗性在年度间比较稳定(表 3)。

2.3 参试小麦品系对白粉病的抗性分析

在参试的 447 份小麦品系中,对白粉病免疫的

品系有 4 份,占参试品系的 0.89%;表现高抗的品系有 33 份,占参试品系的 7.38%;表现中抗的品系有 93 份,占参试品系的 20.81%;表现中感的品系有 184 份,占参试品系的 41.16%;表现高感的品系有 133 份,占参试品系的 29.75%。参试品系对白粉病抗性的平均分值为 8.34,介于中抗和中感之间。总体看来,2006 年—2010 年间参试品系对白粉病抗性较好(平均分值 9.10),2011 年—2015 年参试品系对白粉病的抗性较差(平均分值为 7.45),而 2016 年—2017 年参试品系对白粉病的抗性水平略好于往年(表 4)。

表 3 参试小麦新品系的条锈病抗性水平¹⁾

Table 3 Level of tested breeding lines resistance to strip rust

年度 Year	参试品种数/份 No. of tested breeding lines	平均分 Average score	免疫 Immune		高抗 HR		中抗 MS		中感 MS		高感 HS	
			数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage
2001—2005	47	11.74	0	0.00	1	2.13	12	25.53	18	38.30	16	34.04
2006—2010	98	13.16	3	3.06	8	8.16	24	24.49	33	33.67	30	30.61
2011—2015	161	13.86	0	0.00	21	13.04	58	36.02	32	14.29	50	31.06
2016—2017	121	13.74	6	4.96	21	17.36	19	15.70	31	25.62	44	36.34
总计 Total	427	13.43	9	2.11	51	11.94	113	26.46	114	26.70	140	32.79

1) 2005 年度条锈病数据缺失。
Data of stripe rust resistance in 2005 were missed.

表 4 参试小麦新品系对白粉病的抗性水平

Table 4 Level of tested breeding lines resistance to powdery mildew

年度 Year	参试品种数/份 No. of tested breeding lines	平均分 Average score	免疫 Immune		高抗 HR		中抗 MS		中感 MS		高感 HS	
			数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage
2001—2005	67	8.72	0	0.00	5	7.46	16	23.88	32	47.76	14	20.90
2006—2010	98	9.10	1	1.02	15	15.31	21	21.42	34	34.69	27	27.55
2011—2015	161	7.45	1	0.62	4	2.48	27	16.77	69	42.86	60	37.27
2016—2017	121	8.69	2	16.53	9	7.44	29	23.97	49	40.50	32	26.45
总计 Total	447	8.34	4	0.89	33	7.38	93	20.81	184	41.16	133	29.75

2.4 参试小麦品系对纹枯病的抗性分析

在参试的 447 份品系中,没有对纹枯病表现免疫和高抗的品系,表现中抗的品系有 28 份,占参试品系的 6.26%;表现中感的品系有 276 份,占参试品系的 61.74%;表现高感的品系有 143 份,占参

试品系的 31.99%。参试品系对白粉病抗性的平均分值为 3.49,介于中感和高感之间。总体看来,2011 年—2015 年间参试品系对纹枯病的抗性较差(平均分值为 3.17),其他年份的抗性表现相对稳定(表 5)。

表 5 参试小麦品系对纹枯病的抗性水平

Table 5 Level of tested breeding lines resistance to sharp eyespot

年度 Year	参试品种数/份 No. of tested breeding lines	平均分 Average score	高抗 HR		中抗 MR		中感 MS		高感 HS	
			数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage	数量/份 No.	占比/% Percentage
2001—2005	67	3.82	0	0	11	16.42	39	58.21	17	25.37
2006—2010	98	3.59	0	0	9	9.18	60	61.22	29	29.59
2011—2015	161	3.17	0	0	3	1.86	88	54.65	70	43.78
2016—2018	121	3.64	0	0	5	4.13	89	73.55	27	22.31
总计 Total	447	3.49	0	0	28	6.26	276	61.74	143	31.99

2.5 审定小麦品种的抗病性及部分性状分析

2001 年以来湖北审定小麦品种 46 个,审定品种对赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病抗性的平均分值为 14.02、12.47、7.13 和 3.03,对条锈病的抗性介于中抗和中感之间,对其他 3 种病害的抗性介于中感和高感之间。对条锈病表现中抗以上的品种有 17 个,对白粉病表现中抗以上的品种有 9 个,对赤霉病和纹枯病表现中抗

以上的品种各有 1 个。总体上看,审定品种在单产呈增加趋势的同时,株高逐渐在降低,而生育期在延长(表 6)。

2.6 审定品种部分性状的相关性分析

利用软件 SPSS 19.0 对 2001 年以来湖北省审定品种的株高、生育期、产量、赤霉病抗性、条锈病抗性、白粉病抗性、纹枯病抗性、综合抗病性进行相关性分析。结果(表 7)表明,审定品种的综合抗病

性与对其条锈病抗性、白粉病抗性和赤霉病抗性呈显著相关性,其中与条锈病抗性的相关系数最高($R^2=0.738,P<0.001$)。审定品种的株高与生育期和产量呈显著负相关,与对纹枯病的抗性呈显著正相关。审定品种对纹枯病抗性与产量呈显著负相关。

表 6 2001 年—2018 年间湖北审定小麦品种抗病性及部分性状评价

Table 6 Evaluation on disease resistance and partial traits of varieties released in Hubei province from 2001 to 2018								
审定年度 Year authorized	品种数/个 No. of released wheat varieties		株高/cm Height	产量/kg·(hm ²) ⁻¹ Yield		生育期/d Growth stage	综合抗病性评分 Score of CDR	
2001—2005	14		92.28±6.19	4 846.65±322.05		192.29±1.66	35.69±8.69	
2006—2010	12		89.69±6.24	4 047.40±170.10		195.19±2.37	33.33±6.68	
2010—2015	7		79.01±4.82	6 641.55±455.10		199.13±3.83	39.43±10.44	
2016—2018	13		80.05±4.78	6 433.20±543.45		196.59±3.03	38.15±7.05	
总计 Total	46		85.99±7.95	5 904.45±805.95		195.37±3.48	36.36±8.07	

审定年度 Year authorized	赤霉病 Fusarium head blight		条锈病 Strip rust		白粉病 Powdery mildew		纹枯病 Sharp eyespot	
	平均分	中抗-免疫的数量/个	平均分	中抗以上数量/个	平均分	中抗以上数量/个	平均分	中抗以上数量/个
	Average score	No. of MR to immune	Average score	No. of MR to immune	Average score	No. of MR to immune	Average score	No. of MR to immune
2001—2005	12.31	—	11.54	5	8.00	6	3.85	1
2006—2010	14.67	1	9.00	2	7.00	2	2.67	—
2010—2015	13.71	—	14.57	4	8.00	1	3.14	—
2016—2018	15.38	—	14.77	6	5.54	—	2.46	—
总计 Total	14.02	1	12.47	17	7.13	9	3.03	1

表 7 2001 年—2018 年间湖北审定品种抗病性和部分性状的相关性分析¹⁾

Table 7 Correlation analysis of disease resistance and partial traits of varieties released in Hubei province from 2001 to 2018								
相关系数 Correlation coefficient	株高 Height	生育期 Growth stage	产量 Yield	综合抗病性 CDR	赤霉病抗性 FHBR	条锈病抗性 STR	白粉病抗性 PMR	
生育期 Growth period	—0.516 **							
产量 Yield	—0.565 **	0.694 **						
综合抗病性 CDR	—0.080	0.210	0.101					
赤霉病抗性 FHBR	—0.041	0.060	0.141	0.523 **				
条锈病抗性 STR	—0.286	0.291	0.209	0.738 **	—0.026			
白粉病抗性 PMR	0.239	0.014	—0.142	0.593 **	0.152	0.189		
纹枯病抗性 SER	0.385 **	—0.181	—0.441 **	0.225	0.053	—0.46	0.269	

1) ** 表示极显著相关($P\leq0.01$)。CDR: 综合抗病性; FHBR: 赤霉病抗性; STR: 条锈病抗性; PMR: 白粉病抗性; SER: 纹枯病抗性。
** means that the correlation is highly significant($P\leq0.01$). CDR: Comprehensive disease resistance; FHBR: *Fusarium* head blight resistance; SRR: Strip rust resistance; PMR: Powdery mildew resistance; SER: Sharp eyespot resistance.

3 讨论

小麦赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病是湖北省小麦的主要真菌病害,属常发病害,给当地小麦生产带来了很大隐患^[13]。本研究以 2001 年—2018 年参加湖北省小麦区试的小麦品系和审定品种为研究对象,系统地分析了湖北小麦品种(系)的抗病性水平和抗病性变化趋势。结果表明,参加区试的小麦品系对条锈病和白粉病的抗性较好,对赤霉病和纹枯病的抗性较差;总体上,参试品系对赤霉病和条锈病的抗性表现逐渐增强;审定品种对赤霉病、条锈病、白粉病和纹枯病的抗性均低于参试品系对此 4 种病

害的抗性;审定品种对条锈病的抗性较好,对赤霉病和纹枯病的抗性较差,总体来看,审定品种在单产增加的同时株高降低,生育期延长。自 2001 年以来审定的 46 个品种在湖北的种植面积占湖北小麦种植面积的 75% 以上(湖北省种子管理局 2017 年数据),这些品种对这 4 种病害的抗性代表了湖北省目前栽培小麦的整体抗性水平。该研究结果可为湖北省小麦病害防控提供参考,对湖北小麦抗病育种具有指导作用。

2001 年至 2018 年,湖北省审定小麦品种的产量潜力不断提高,株高不断降低,生育期不断延长(表 6),有效穗数不断增加^[14]。株高较高的品种由

于小麦穗部远离菌源地——土壤表面,而表现出一种对病害的逃避机制,因此,一般认为小麦株高与赤霉病抗病性存在明显的负相关^[15-17],相关系数最高为 $r=-0.70$,但这种相关性并没有被充分证实^[18]。本研究中,审定小麦品种的赤霉病抗性与株高无明显相关性(表7),说明湖北近年来审定品种株高降低(表6)的同时,赤霉病抗性水平没有下降。小麦纹枯病病原菌能感染茎基和鞘,破坏运输组织,阻断营养的运输,从而导致倒伏和死穗^[19]。Willocquet等^[20]研究认为,水稻对立枯丝核菌引起的纹枯病的抗性与株高和抽穗期密切相关。也有学者认为,小麦对纹枯病的抗性与小麦株高不存在相关性^[21]。小麦纹枯病抗性与农艺性状的遗传相关性存在多种分歧。本研究中,湖北审定小麦品种对纹枯病的抗性与产量呈显著负相关,与株高呈显著正相关(可能与本研究中产量和株高呈显著负相关有关)。

总体上来看,2001年以来湖北省小麦品种(系)的抗性表现总体平稳,抗性水平不高,特别是对赤霉病和纹枯病的抗性水平较低。因此,今后一段时期内,在持续加大湖北小麦抗病育种力度的同时,要抓好湖北小麦病害的防控工作,确保小麦安全生产。

参考文献

- [1] 敖立万. 湖北小麦[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2002: 221-241.
- [2] MA Hongxiang, YAO Jinbao, ZHOU Miaoping, et al. Molecular breeding for wheat fusarium head blight resistance in China [J]. Cereal Research Communications, 2008, 36(S6): 203-212.
- [3] 刘易科, 佟汉文, 朱展望, 等. 小麦赤霉病抗性改良研究进展 [J]. 麦类作物学报, 2016, 36(1): 51-57.
- [4] 朱展望, 朱伟伟, 佟汉文, 等. 湖北小麦品种赤霉病抗性及其在生产中的应用[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(12): 1733-1738.
- [5] 杨立军, 唐道廷, 向礼波, 等. 近10年来湖北省审(认)定小麦品种对条锈病的抗性表现[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(5): 982-985.
- [6] 许红. 湖北麦区小麦白粉病发生规律研究——田间消长规律 [C]//小麦白粉病测报与防治技术研究. 中国农业技术推广协会, 2000: 5.
- [7] 杨立军, 向礼波, 曾凡松, 等. 湖北麦区小麦白粉病菌毒性结构分析[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 76-79.
- [8] MORGOUNOV A, TUFAN H A, SHARMA R, et al. Global incidence of wheat rusts and powdery mildew during 1969-2010 and durability of resistance of winter wheat variety Bezostaya 1 [J]. European Journal of Plant Pathology, 2012, 132(3): 323-340.
- [9] CHEN Liang, ZHANG Zengyan, LIANG Hongxia, et al. Overexpression of *TiERF1* enhances resistance to sharp eyespot in transgenic wheat [J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(15): 4195-4204.
- [10] HAMADA M S, YIN Yanni, CHEN Huaigu, et al. The escalating threat of *Rhizoctonia cerealis*, the causal agent of sharp eyespot in wheat [J]. Pest Management Science, 2011, 67(11): 1411-1419.
- [11] 张会云, 陈荣振, 冯国华, 等. 中国小麦纹枯病的研究现状与展望[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(6): 1150-1153.
- [12] 杨立军, 唐道廷, 向礼波, 等. 湖北省小麦后备品种及二线育种材料抗病性鉴定[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(6): 633-635.
- [13] 刘易科, 朱展望, 佟汉文, 等. 湖北省主要小麦品种抗病基因分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(4): 1040-1049.
- [14] 佟汉文, 彭敏, 刘易科, 等. 2001-2016年湖北省小麦区域试验审定品种产量性状分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 46-50.
- [15] DRAEGER R, GOSMAN N, STEED A, et al. Identification of QTLs for resistance to *Fusarium* head blight, DON accumulation and associated traits in the winter wheat variety Arina [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2007, 115(5): 617-625.
- [16] LIU Shuyu, GRIFFEY C A, HALL M D, et al. Molecular characterization of field resistance to *Fusarium* head blight in two US soft red winter wheat cultivars [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2013, 126(10): 2485-2498.
- [17] HE Xinyao, SINGH P K, SCHLANG N, et al. Characterization of Chinese wheat germplasm for resistance to *Fusarium* head blight at CIMMYT, Mexico [J]. Euphytica, 2014, 195(3): 383-395.
- [18] 刘易科, 佟汉文, 朱展望, 等. 小麦赤霉病抗性机理研究进展 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1476-1488.
- [19] WANG Minxia, ZHU Xiuliang, WANG Ke, et al. A wheat caffeic acid 3-O-methyltransferase TaCOMT-3D positively contributes to both resistance to sharp eyespot disease and stem mechanical strength [J/OL]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 6543. DOI:10.1038/S41598-018-24884-0.
- [20] WILLOCQUET L, NOEL M, HAMILTON R S, et al. Susceptibility of rice to sheath blight: an assessment of the diversity of rice germplasm according to genetic groups and morphological traits [J]. Euphytica, 2012, 183(2): 227-241.
- [21] 郭彦. 小麦纹枯病 QTL 的抗性因素研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.

(责任编辑: 杨明丽)