

种植区环境对燕麦种质成株期白粉病抗性的影响

孙浩洋,赵桂琴,柴继宽,曾 亮,焦润安,金小雯,官文龙,黎 蓉

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探究种植区环境对燕麦种质成株期白粉病抗性的影响,利用相对抗病指数分别对种植在甘肃省半干旱区(甘肃农业大学兰州牧草试验站)和二阴地区(通渭县华家岭镇)的 28 份燕麦资源在田间自然感病条件的白粉病成株期抗性进行了鉴定和评价。结果表明:28 份材料中 4641 和 99AS207 在两个试验点均表现为高抗,4607、Rigdon、DA92-3F4、青永久 252、青永久 9 和青永久 98 等 6 份材料在两个试验点均表现为中抗,但 4628、伽利略和青永久 307 在牧草站表现高抗白粉病,在华家岭表现高感,而 709、青永久 316、青永久 49 在牧草站高感白粉病,在华家岭表现高抗;所有参试材料中以 4628 的相对抗病指数变化最大,在华家岭和牧草站分别为 0 和 0.92。结果表明种植区环境对燕麦白粉病抗性有显著影响,参试材料在半干旱地区的病害平均严重度高于二阴地区。

关键词:种植区环境;燕麦种质;成株期;白粉病抗性

中图分类号:S512.6;S432 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)04-0031-08

燕麦(*Avena sativa*)是我国北方地区重要的一年生禾本科粮饲兼用作物^[1],具有营养价值高、生物量大、生长速度快以及抗逆性强等优良特性^[2],近年来种植面积不断扩大。由于种植水平的不断提高和水肥条件的改善,以及气候变暖^[3-4],燕麦在大面积集约化生产中较易发生白粉病、黑穗病、锈病和叶斑病等病害^[5]。

由禾本科布氏白粉菌(*Blumeria graminis*)引起的燕麦白粉病为世界范围的气传真菌性病害。据国家现代农业(燕麦荞麦)产业技术体系调查,甘肃省燕麦主产区白粉病的发病株率为 45%~100%,病情指数

高达 78^[6]。白粉菌主要侵染燕麦叶片,影响光合作用^[7-8],导致植株矮小,不抽穗或穗短;还影响燕麦灌浆,形成空粒、瘪粒,千粒质量下降^[9],减产最高可达 39%^[10]。因此,防治白粉病已成为燕麦生产区的主要问题。在所有防治手段中,筛选和使用抗性品种是最直接、最根本的方法。目前,燕麦资源白粉病抗性的研究已有报道,郭斌等^[11]对 128 份燕麦材料进行了白粉病抗性的田间鉴定,发现高抗材料 2 个,中抗材料 8 个;赵峰等^[12]从 213 份燕麦种质中筛选出高抗白粉病材料 12 份、中抗材料 18 份。研究都是在同一个试验点开展,只是年份不同。二者试验中有 6 份材料是相同的,但是抗性鉴定的结果却大有不同。如白燕 2 号在 2009~2011 年表现为中抗,2012~2014 年表现为高感;白燕 9 号和青永久 149 均在 2009~2011 年表现极感,2012~2014 年表现中感,出现这种现象的原因是同一地点不同年份的温度、湿度等环境条件差异较大。环境条件成为影响鉴定结果的主要因素,何美敬等^[13]通过对 116 份花生材料进行连续 2 年的田间抗性评价,发现一些材料在不同温度、湿度等条件下对花生果腐病的抗性差异较大。周勇等^[14]通过在 7 个不同环境下对 502 份白皮小麦进行穗发芽抗性鉴定和

收稿日期:2019-02-25; **修回日期:**2019-03-25

基金项目:国家燕麦荞麦产业体系(CARS-08-C);农业部牧草种质资源保护项目(2013014);青海省青藏高原优良牧草种质资源利用重点实验室(2017-ZJ-Y12)资助

作者简介:孙浩洋(1993-),男,陕西渭南人,在读硕士生。

E-mail:344659785@qq.com

赵桂琴为通讯作者。

E-mail:zhaogq@gsau.edu.cn

评价,发现仅有 7 份材料具有在多个环境下稳定的抗性。黄凌洪等^[15]选取 5 个不同生态试点采用分批播种法对稻瘟病进行抗性研究也得出类似的结果。因此,要评价某一材料的抗病性,需在不同环境下进行检验,筛选抗性稳定的材料用于生产,才能有效控制病害蔓延。

近年来随着毒性增强、毒谱更广的病菌小种不断出现,一部分作物已逐渐丧失垂直抗性基因,水平抗性基因逐渐表现出一定的优势,而成株抗性对病原菌生理小种的选择压力小,往往具备广谱且持久的抗病性^[16],利用成株抗性是未来实现品种兼抗和持久抗性的最佳选择^[17]。因此,分别在甘肃二阴地区和半干旱区设置鉴定圃,调查燕麦种质资源在田间自然感病条件下对白粉病的成株期抗性,研究种植区环境对燕麦资源成株期白粉病抗性的影响,为筛选高抗稳定的燕麦抗白粉病种质提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试燕麦材料共计 28 份(表 1),其中国内材料 20 份,国外材料 8 份,均由甘肃农业大学草业学院提供。

1.2 试验方法

1.2.1 鉴定圃 试验设立在甘肃二阴地区和半干旱区,二阴地区选择甘肃省定西市通渭县华家岭镇老站村,海拔 2 242 m,年均气温 3.4℃,无霜期 80 d,年均降水量 500 mm,日照时数 2 100~2 430 h,≥0℃的积温为 2 530℃。于 2017 年 4 月上旬进行田间播种。半干旱区鉴定圃设在甘肃农业大学兰州牧草试验站(下称牧草站),海拔 1 473.64 m,年均气温 11℃。日照时数 2 352~2 769 h,无霜期 180 d,降水量 400 mm,主要集中在 7~9 月(图 1)。于 2017 年 3 月下旬播种。

鉴定圃均采用单行条播方式种植,行长 1.5 m,行距 30 cm,播种量为 225 kg/hm²,4 次重复,供试材料按编号随机排列,鉴定圃四周设保护区。

1.2.2 病情调查 在燕麦白粉病发病盛期(孕穗期)进行病情调查,每份材料随机调查 100 片叶,按 GB/T 17980.22-2000《农药田间药效试验准则(一)杀菌剂防治禾谷类白粉病》分级标准(表 2)^[18]逐叶记载发病的严重度并计算病情指数。

$$DI=[\sum_{i=1}^n X_i \times S_i / (\sum_{i=1}^n X_i \times 9)] \times 100$$

式中:DI 为病情指数;*i* 为病级数(1~*n*);*X_i* 为病情是 *i* 级的单元数;*S_i* 为病情是 *i* 级的严重度值。

表 1 供试燕麦材料

Table 1 Oat germplasm resources

编号	种质	学名	来源
1	QO245-7	<i>Avena nuda</i>	甘肃
2	199	<i>Avena. sativa</i>	青海
3	709	<i>A. sativa</i>	青海
4	4607	<i>A. sativa</i>	加拿大
5	4628	<i>A. sativa</i>	加拿大
6	4641	<i>A. sativa</i> L.	加拿大
7	4663	<i>A. sativa</i>	加拿大
8	99AS207	<i>A. sativa</i>	加拿大
9	DA92-3F4	<i>A. sativa</i>	加拿大
10	Rigdon	<i>A. sativa</i>	加拿大
11	坝燕 6 号	<i>A. sativa</i>	河北
12	白燕 7 号	<i>A. sativa</i>	吉林
13	伽利略	<i>A. sativa</i>	澳大利亚
14	青永久 163	<i>A. sativa</i>	青海
15	青永久 164	<i>A. sativa</i>	青海
16	青永久 016	<i>A. sativa</i>	青海
17	青永久 25	<i>A. sativa</i>	青海
18	青永久 252	<i>A. sativa</i>	青海
19	青永久 260	<i>A. sativa</i>	青海
20	青永久 304	<i>A. sativa</i>	青海
21	青永久 307	<i>A. sativa</i>	青海
22	青永久 316	<i>A. sativa</i>	青海
23	青永久 321	<i>A. sativa</i>	青海
24	青永久 420	<i>A. sativa</i>	青海
25	青永久 479	<i>A. sativa</i>	青海
26	青永久 49	<i>A. sativa</i>	青海
27	青永久 9	<i>A. sativa</i>	青海
28	青永久 98	<i>A. sativa</i>	青海

表 2 燕麦白粉病分级标准^[18]

Table 2 The severity scale of oat Powdery Mildew

分级	划分标准
0 级	无病斑
1 级	病斑面积占整片叶面积的 5% 以下
3 级	病斑面积占整片叶面积的 6%~15%
5 级	病斑面积占整片叶面积的 16%~25%
7 级	病斑面积占整片叶面积的 26%~50%
9 级	病斑面积占整片叶面积的 50% 以上

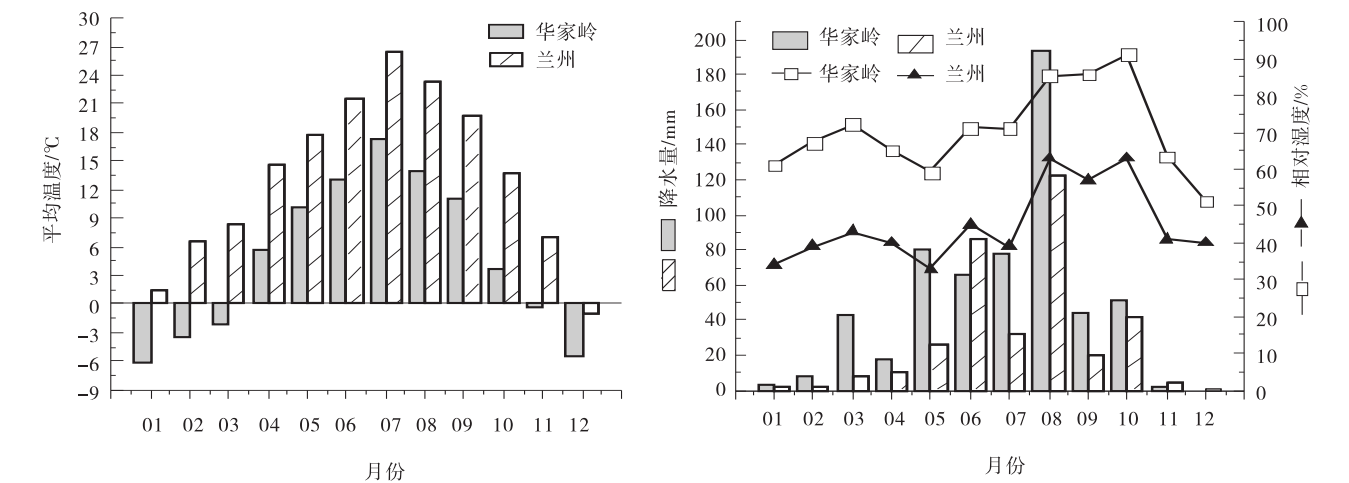


图 1 试验区 2017 年降雨、温度、相对湿度分布

Fig. 1 Distribution of rainfall, temperature and relative humidity in the test area in 2017

1.2.3 病情分级和抗性评价标准 燕麦成株期白粉病病情分级标准, 及以病情指数为基础, 采用相对抗性评价方法(表 3)^[19-22]。

相对抗病指数=1-(所测品种病情指数/发病最重品种病情指数)

表 3 燕麦白粉病的抗性评价标准

Table 3 The standards of resistance evaluation of oat Powdery Mildew

相对抗病指数	抗性
1.00	免疫(IM)
$0.86 \leq \text{相对抗病指数} \leq 0.99$	高抗(HR)
$0.56 \leq \text{相对抗病指数} < 0.86$	中抗(MR)
$0.30 \leq \text{相对抗病指数} < 0.55$	中感(MS)
相对抗病指数<0.30	高感(HS)

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2016 进行数据录入及处理, 采用 Origin Pro 2018 绘图。

2 结果与分析

2.1 供试材料在二阴地区的抗病性分析

从表 4 中 28 份燕麦种质资源中无免疫材料; 709、4641、4663、99AS207、坝燕 6 号、青永久 25、青永久 316、青永久 321、青永久 479 和青永久 49 等 10 份材料表现高抗, 病情指数在 0.11~3.11, 相对抗病指数均大于 0.88; 其中 4641、99AS207 的相对抗病指数最高, 达 0.99。另外 4607、DA92-3F4、QO245-7、Rigdon、青永久 016、青永久 164、青永久 252、青永久 260、青永久 420、青永久 9 以及青永久 98 等 11 份材料表现中抗, 病情指数为 3.56~11.22, 占供试材料的 39.29%。中

表 4 华家岭燕麦种质资源白粉病抗性

Table 4 Resistance of oat germplasm resources to powdery mildew in Hua Jialing

品种	总叶数	病叶数	病情指数	相对抗病指数	抗性
199	100	30	15.11	0.42	MS
709	100	11	2.33	0.91	HR
4607	100	40	8.89	0.66	MR
4628	96	60	26.00	0.00	HS
4641	100	2	0.22	0.99	HR
4663	100	7	1.44	0.94	HR
99AS207	100	1	0.11	0.99	HR
DA92-3F4	100	23	10.78	0.59	MR
QO245-7	100	18	4.89	0.81	MR
Rigdon	100	19	3.67	0.86	MR
坝燕 6 号	100	7	2.11	0.92	HR
白燕 7 号	100	60	18.22	0.11	HS
伽利略	96	52	23.61	0.07	HS
青永久 016	100	16	10.67	0.59	MR
青永久 163	100	48	16.89	0.35	MS
青永久 164	100	25	10.11	0.61	MR
青永久 25	100	20	3.11	0.88	HR
青永久 252	100	21	8.33	0.68	MR
青永久 260	100	19	4.33	0.83	MR
青永久 304	100	40	11.56	0.56	MS
青永久 307	100	36	18.22	0.30	HS
青永久 316	100	10	2.44	0.91	HR
青永久 321	100	4	0.67	0.97	HR
青永久 420	100	21	11.22	0.57	MR
青永久 479	100	5	0.56	0.98	HR
青永久 49	100	16	2.67	0.90	HR
青永久 9	100	15	4.33	0.83	MR
青永久 98	100	20	4.00	0.85	MR

感材料有 3 份,为 199、青永久 163 和青永久 304,病情指数在 11.56~16.89,占 10.71%。表现高感的有 4 份,占供试材料的 14.29%,病情指数介于 18.22~26.00,其中,加拿大的材料 4628 的病情指数最高,伽利略次之,分别为 26.00 和 23.61。

2.2 供试材料在半干旱区的白粉病抗性

种植在半干旱区的 28 份燕麦种质资源中也无免疫材料(表 5)。199、4628、4641、99AS207、QO245-7、伽利略、青永久 307 与青永久 420 共 8 份表现高抗,病情指数在 2.67~8.56,相对病情指数均高于 0.86;其中,4641 病情指数最低,为 2.67,相对抗病指数为 0.96。4607、4663、DA92-3F4、Rigdon、坝燕 6 号、白燕 7 号、青永久 163、青永久 252、青永久 304、青永久 321、青永久 9 和青永久 98 共 12 份材料表现中抗。中感材

表 5 牧草站燕麦种质资源白粉病抗性鉴定

Table 5 Resistance of oat germplasm resources to powdery mildew in Forage Station

品种	总叶数	病叶数	病情指数	相对抗病指数	抗性
199	100	45	7.89	0.87	HR
709	100	98	52.89	0.13	HS
4607	105	71	12.96	0.79	MR
4628	100	40	4.67	0.92	HR
4641	100	20	2.67	0.96	HR
4663	95	68	10.93	0.82	MR
99AS207	101	27	3.20	0.95	HR
DA92-3F4	100	58	12.67	0.79	MR
QO245-7	102	29	4.01	0.93	HR
Rigdon	106	82	21.34	0.65	MR
坝燕 6 号	109	72	15.64	0.74	MR
白燕 7 号	100	74	10.22	0.83	MR
伽利略	100	49	8.56	0.86	HR
青永久 016	100	100	46.67	0.23	HS
青永久 163	96	53	9.14	0.85	MR
青永久 164	100	99	57.67	0.05	HS
青永久 25	100	93	29.12	0.52	MS
青永久 252	104	74	13.19	0.78	MR
青永久 260	103	101	47.70	0.22	HS
青永久 304	101	60	9.52	0.84	MR
青永久 307	100	22	3.11	0.95	HR
青永久 316	106	103	43.70	0.28	HS
青永久 321	100	78	10.89	0.82	MR
青永久 420	101	31	5.87	0.90	HR
青永久 479	106	98	41.77	0.32	MS
青永久 49	106	105	61.00	0.00	HS
青永久 9	96	54	8.64	0.86	MR
青永久 98	100	70	13.56	0.78	MR

料有 2 个,为青永久 25 和青永久 479。表现高感的材料 6 份,均来源于青海,其中青永久 49 的病情指数最高,为 61.00。高抗、中抗、中感以及高感材料分别占供试材料的 28.57%、42.86%、7.14%和 21.43%。

2.3 燕麦种质白粉病抗性稳定性

燕麦白粉病田间发生和流行主要与气温、相对湿度和降水量密切相关,华家岭和牧草站的气候条件存在明显差异(图 1),结合 2 个试点抗性评价结果可以看出,种植区环境对燕麦种质白粉病抗性有显著影响且以温度为主要因素,主要表现为温度较高的半干旱区平均病情指数高于相对湿度及降雨量较高的二阴地区(20.33 vs. 8.09),发病较为严重。同时,同一燕麦材料在不同种植环境下的白粉病抗性也存在显著差异,主要体现在两试点的相对抗病指数差异,其中 709、4628、白燕 7 号、伽利略、青永久 016、青永久 163、青永久 260、青永久 307、青永久 316、青永久 479 和青永久 49 的相对抗病指数变化幅度均超过 50%,表现不稳定;4628 在牧草站的病情指数为 4.67,在华家岭为 26.00,差异最大,相对抗病指数变化超过 92.00%,抗性极不稳定,受环境影响很大。4641 和 99AS207 无论是在半干旱地区还是二阴地区,均表现为高抗白粉病,相对抗病指数均大于 0.95,抗性稳定。28 份燕麦材料中,4607、Rigdon、DA92-3F4、青永久 252、青永久 9 以及青永久 98 在两地的抗性评价中均表现为中抗,且抗性稳定,不易受环境因素的影响(见图 2)。

3 讨论

与人工接种相比,利用田间自然感病对各燕麦材料进行抗性评价,更能客观反映生产中品种对当地病原群体的抗性类型^[11]。然而田间抗性评价易受环境条件等诸多因素的影响,仅凭一地的田间评价结果很难全面反映品种的抗性水平及其稳定性^[23]。因此,试验选取牧草站和华家岭 2 个气候环境不同的试点进行抗性评价。由于白粉病属于典型气传病害,为减少供试材料在田间环境下因传播菌量不同造成的发病程度差异,采用相对抗病指数来判定其抗病性类型^[24],该方法已广泛应用于小麦^[25]、马铃薯^[26]、草地早熟禾^[27]等植物的大田抗病性评价。种植在不同环境下的燕麦材料对白粉病抗性差异很大,其中相对抗病指数变化最大的是 4628(在华家岭为 0,在牧草站为 0.92)、其次是青永久 49,伽利略、709、白燕 7 号;而 4607、4641、

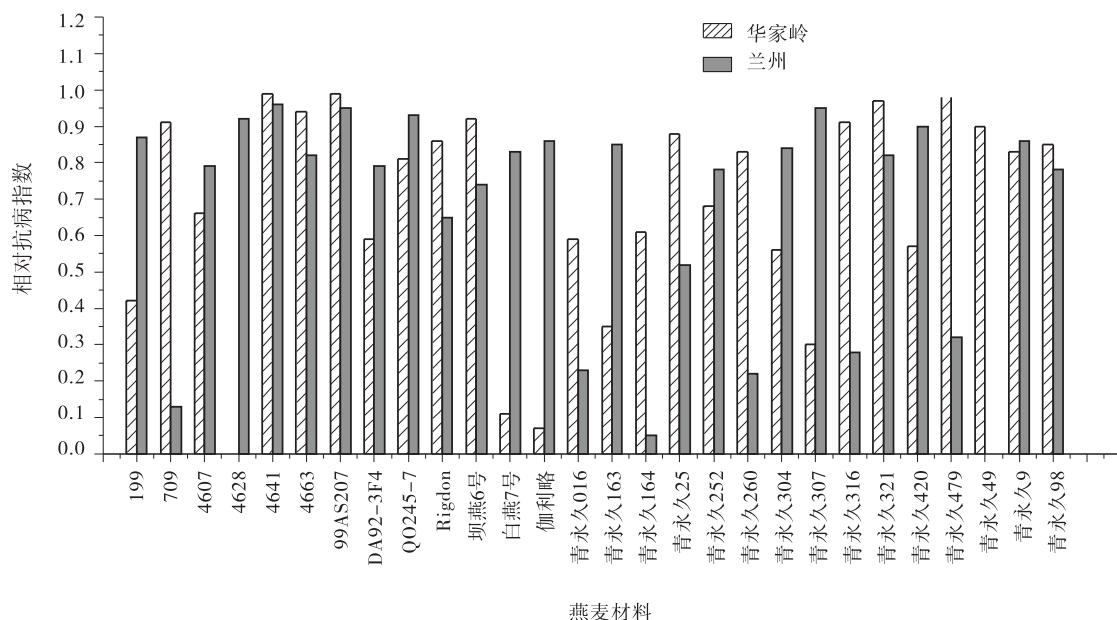


图 2 2 个试验地燕麦材料的相对抗病指数

Fig. 2 Comparison of relative disease resistance indices between the two experimental points

99AS207、Rigdon、DA92-3F4、青永久 252、青永久 9 以及青永久 98 在 2 个试验点中的相对抗病指数差异较小,说明这些材料的抗性较为稳定,其中 4641、99AS207 表现为稳定高抗,4607、Rigdon、DA92-3F4、青永久 252、青永久 9、青永久 98 等 6 个材料表现为稳定中抗。28 份材料中未发现免疫材料。

植物发病是病原菌、植物和环境三者相互作用的结果。气候变化对病原物直接作用或影响寄主从而间接作用于病原物^[28]。在某一范围内,温度升高或降水量发生变化时可以通过改变病原菌的生命周期状态、病原菌越冬、越冬数量和存活数量、病原菌的传播扩散能力等影响病害的发生流行。Jahn 等研究表明温度升高,降雨量减少时,小麦、大麦和甜菜白粉病发生严重^[29]。白粉菌的最适温度范围为 15~20℃,当温度低于 10℃时发病较为缓慢,而超过 25℃时会受到明显抑制^[30]。张蕾等^[31]研究表明小麦白粉病发生程度与最低温度、相对湿度、降水量、降雨日数呈正相关。刘伟等^[32]通过 Burkard 定容式孢子捕捉器对田间空气中小麦白粉病菌分生孢子的检测,也发现白粉菌分生孢子浓度与温度显著相关。才旦卓玛等^[33]研究发现不同地区的小麦白粉菌在不同温度下其潜育期、敏感性、温度抑制中值以及温度终止阈值存在极显著差异。相对湿度也是影响白粉病发生的重要因素^[34]。在一定范围内,相对湿度与病害程度成正比,但湿度过大不利于分生孢子的形成和传播,反而抑制病情发展^[35]。王

海燕^[36]研究报道一定湿度与温度条件下,平均相对湿度对小麦白粉菌侵染机率的直接影响比平均温度直接影响大。土壤水分与湿度密切相关,李艳茹^[37]通过测定不同白粉病抗性的小麦品种的土壤含水量发现,土壤含水量比较高的小麦品种白粉病抗性较差。降水量与空气湿度密切相关,适量的降水会加重小麦白粉病发生,但连续降水则不利于分生孢子的形成和传播,并会冲刷掉小麦叶表面的分生孢子,不利于病害的发生与流行^[38]。叶玉等^[39]通过监测不同食用玫瑰的白粉病田间发病情况发现,发病严重度随降雨量呈现先上升后下降的趋势,雨季高峰的到来开始降低至病症消失。通过甘肃省兰州市气象局提供的 2017 年气象数据发现(图 1),在燕麦生育期 4~9 月间,华家岭的平均温度为 11.86℃,低于牧草站(20.59℃),平均湿度为 72.97%,高于牧草站(46.17%),降雨量为 476.70 mm,远高于牧草站(299.60 mm)。因此,虽然牧草站在燕麦生育期的平均湿度及降雨量低于华家岭,但由于其平均温度处于白粉菌繁殖的最适温度范围内,而且华家岭连续降雨可能会冲刷叶片表面的白粉病菌,因此牧草站种植的燕麦其白粉病病情指数显著高于华家岭。

由于白粉菌变异速度较快,在不同的生态条件下可能存在不同致病力的生理小种,这也可能是导致同一燕麦材料在不同种植区白粉病抗性表现不同的原因。Carver 等^[40]对燕麦白粉菌生理小种及其致病力

研究较多,其选择 6 个具有不同白粉病抗性的燕麦品种对燕麦白粉菌的 2 个生理小种进行了毒力鉴定,研究表明生理小种 2 和生理小种 4 的致病力差异显著。Okon 和 Ociepa^[41]利用 8 个具有不同白粉病抗性的燕麦品种对不同年份、不同地区采集的 20 个白粉菌株进行致病力的测定发现这些白粉菌菌株具有不同的致病力。国内对于燕麦白粉菌的生理小种及其致病力研究较少,仅有孙道旺等^[42]人对云南省燕麦白粉菌进行了致病力测定,对于甜瓜白粉病^[43]、南瓜白粉病^[44]、小麦白粉病^[45]等植物的白粉病生理小种研究较多。王婉琳^[46]利用 36 个小麦单基因系鉴别寄主对采自东北和四川地区的 80 个白粉菌单孢菌株进行毒力及其频率分析,表明东北地区小麦白粉菌的毒力频率随时间不断变化,且不同年份、地区的小麦白粉菌毒力结构存在差异。吕元佐等^[47]研究发现引起甜瓜白粉病的单囊壳白粉菌(*P. xanthii*),其不同生理小种的发病时期温度不同,不同地区、不同年份的优势小种不同,并且存在不同生理小种在不同年份交替发生且并存的现象,说明白粉病的发生存在显著的时间性和地区性^[41]。因此,试验中同一燕麦材料在 2 个试验点表现出的白粉病抗性差异除与所处的环境有关外,是否还与 2 个试验点的白粉菌生理小种不同有关还需进一步研究。

植物的抗病性不仅与病原菌有关,还与植物所处的环境有关。王文平^[48]研究发现在亚高温、高湿环境下番茄热激蛋白表达上调,导致番茄对叶斑病的抗性减弱。李元等^[49]发现太阳辐射通过改变植物形态防御结构对植物体内或表面的病菌生命活动与侵染力产生影响,间接改变植物抗病性。朱朕^[50]和李旭升等^[51]研究发现,不同海拔高度及生育期也会影响水稻对稻瘟病的抗性。

4 结论

(1)以种植区温度为主要影响因素的环境条件对燕麦成株期白粉病抗性有显著影响。

(2)28 份燕麦种质资源在半干旱区和二阴地区均未发现对白粉病免疫的材料。

(3)供试材料中,在不同种植区下表现稳定的高抗材料为 4641、99AS207;稳定的中抗材料为 4607、Rigdon、DA92-3F4、青永久 252、青永久 9、青永久 98 等 6 份;有 5 份材料具有抗病性但是不稳定,其余材料在两地均感白粉病。

参考文献:

- [1] 周青平,颜红波,梁国玲,等. 不同燕麦品种饲草和籽粒生产性能分析[J]. 草业学报,2015,24(10):120—130.
- [2] 徐惠云,王盼忠. 晋北高寒区不同燕麦品种生长特性比较研究[J]. 中国农学通报,2016,32(27):53—57.
- [3] 任长忠,胡新中. 中国燕麦荞麦产业“十二五”发展报告(2011~2015)[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2016:12—18.
- [4] 王丽,霍治国,张蕾,等. 气候变化对中国农作物病害发生的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(07):1673—1684.
- [5] 李春杰,陈泰祥,赵桂琴,等. 燕麦病害研究进展[J]. 草业学报,2017,26(12):203—222.
- [6] 任长忠,胡跃高. 中国燕麦学[M]. 北京:中国农业出版社,2013:5.
- [7] 何家泌,何文兰,宋玉立,等. 小麦白粉病及其防治 II. 小麦白粉病的病原菌[J]. 河南农业科学,1998,27(2):18—20.
- [8] 何家泌,宋玉立,张忠山,等. 小麦白粉病及其防治 I. 小麦白粉病的分布、症状和危害[J]. 河南农业科学,1998,27(1):18—19.
- [9] 王晓宇,冯伟,王永华,等. 小麦白粉病严重度与植株生理性状及产量损失的关系[J]. 麦类作物学报,2012,36(6):1192—1198.
- [10] Okon S M, Ociepa T. Effectiveness of new sources of resistance against oat powdery mildew identified in *A. sterilis*[J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2018, 125(5):505—510.
- [11] 郭斌,郭满库,郭成,等. 燕麦种质资源抗白粉病鉴定及利用评价[J]. 植物保护,2012,38(4):144—146.
- [12] 赵峰,郭满库,郭成,等. 213 份燕麦种质的白粉病抗性评价[J]. 草业科学,2017,34(2):331—338.
- [13] 何美敬,刘阳杰,崔顺立,等. 花生种质资源果腐病的抗性评价[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(4):780—789.
- [14] 周勇,李净琼,李嘉,等. 白皮小麦抗穗发芽资源评价及抗性候选位点关联分析[J]. 麦类作物学报,2018,38(6):674—685.
- [15] 黄凌洪,张天才,汪锐辉,等. 不同生态环境下 2009 年江西省主栽早稻品种稻瘟病的发生[J]. 江西农业大学学报,2010,32(3):485—488.
- [16] 何中虎,夏先春,罗晶,等. 国际小麦育种研究趋势分析[J]. 麦类作物学报,2006,26(2):154—156.
- [17] 李晓华,郭慧娟,畅志坚,等. 小麦白粉病成株抗性研究现状[J]. 山西农业科学,2017,45(04):653—658.
- [18] 农业部农药检定所. GB/T 17980. 22-2000 农药田间药

- 效试验准则(一)杀菌剂防治禾谷类白粉病[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [19] 杨立军,杨小军,喻大昭,等. 小麦品种(系)对纹枯病抗性鉴定及抗病资源的筛选[J]. 植物保护,2001,27(2):4—7.
- [20] 刘红梅,冯明义,龙玲,等. 毕节地区小麦主栽品种对条锈病的抗性评价[J]. 贵州农业科学,2006,34(2):92—93.
- [21] 史建荣,王裕中,陈怀谷,等. 小麦纹枯病品种抗性鉴定技术及抗病资源的筛选与分析[J]. 植物保护学报,2000,49(2):107—112.
- [22] 胡锐,邢彩云,吴营昌,等. 11 个优质小麦品种对小麦白粉病抗性的初步鉴定[J]. 河南农业科学,2011,40(5):108—110.
- [23] 何文兰,宋玉立,刘红彦,等. 小麦推广品种综合抗病性鉴定与评价[J]. 河南农业科学,2001,30(10):19—21.
- [24] 周建波,殷辉,封云涛,等. 应用相对抗病性指数评价胡萝卜种质资源黑腐病抗性[J]. 中国农学通报,2015,31(19):154—158.
- [25] 胡锐,邢彩云,吴营昌,等. 11 个优质小麦品种对小麦白粉病抗性的初步鉴定[J]. 河南农业科学,2011,40(5):108—110.
- [26] 王喜刚,郭成瑾,张丽荣,等. 宁夏马铃薯主栽品种对黑痣病的抗性鉴定[J]. 植物保护,2018,44(3):190—196.
- [27] 王跃栋,刘自学,苏爱莲. 草地早熟禾品种在北京地区对褐斑病的抗性评价[J]. 草业科学,2011,28(10):1796—1800.
- [28] Siebold M, Von Tiedemann A. Potential effects of global warming on oilseed rape pathogens in Northern Germany [J]. Fungal Ecology,2012,5(1):62—72.
- [29] JAHN M, KLUGE E, ENZIAN S. Influence of Climate Diversity On Fungal Diseases On Field Crops-Evaluation of Long-Term Monitoring Data[J]. Aspects of Applied Biology (United Kingdom),1996,(45):247—252.
- [30] 唐秀丽. 气候变化对我国小麦白粉病流行的影响[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [31] 张蕾,郭安红,李森. 小麦白粉病气候变化响应及动态预警[J]. 自然灾害学报,2017,26(1):141—148.
- [32] 刘伟,姚冬明,范洁茹,等. 田间空气中小麦白粉菌分生孢子的动态监测研究[J]. 植物病理学报,2016,46(1):112—118.
- [33] 才旦卓玛,刚存武,范洁茹,等. 2012 年我国部分麦区小麦白粉菌群体对温度敏感性研究[J]. 植物保护,2015,41(1):150—153.
- [34] Ward S V, Manners J G. Environmental effects on the quantity and viability of conidia produced by *Erysiphe graminis*[J]. Transactions of the British Mycological Society,1974,62(1):119—128.
- [35] 肖志强,李宗明,樊明,等. 陇南山区小麦白粉病流行程度预测模型[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(3):80—85.
- [36] 王海燕. 小麦白粉病菌侵染机率的研究[J]. 植物病理学报,1992(2):131—136.
- [37] 李燕茹. 间作环境对不同抗性品种小麦白粉病及土壤含水量的影响[J]. 吉林农业,2010(7):86—88.
- [38] Friedrich S. Modeling infection probability of powdery mildew in winter-wheat by meteorological—input variables[M]. 1995:102,354—365.
- [39] 叶玉,任建青,李荣琼,等. 昆明地区食用玫瑰主要病害田间发生规律及其影响因素研究[J]. 西南农业学报,2018,31(1):94—98.
- [40] Carver T L W, Carr A J H. Some Effects of Host Resistance On the Development of Oat Mildew. [J]. Annals of Applied Biology,1980,94(2):290—293.
- [41] Okoń S M, Ociepa T. Virulence Structure of the *Blumeria Graminis* Dc. F. Sp. *Avenae* Populations Occurring in Poland Across 2010-2013 [J]. European Journal of Plant Pathology,2017,149(3):711—718.
- [42] 孙道旺,尹桂芳,卢文洁,等. 云南省燕麦白粉病病原鉴定及致病力测定[J]. 植物保护学报,2017,44(4):617—622.
- [43] 张慧君,张佩,吴乔歆,等. 淮北地区甜瓜白粉病生理小种的鉴定[J]. 分子植物育种,2017,15(3):1084—1089.
- [44] 屈淑平,綦聪,王云莉,等. 南瓜白粉病病原菌及种质资源抗性鉴定[J]. 东北农业大学学报,2018,49(12):9—17.
- [45] 朱桂清,迟文娟,吴限鑫,等. 东北小麦白粉菌遗传多样性及其地域关联性分析[J]. 河南农业科学,2015,44(3):77—82.
- [46] 王婉琳. 东北麦区小麦白粉菌群体结构遗传多样性及抗病品种的筛选研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [47] 吕元佐,崔浩楠,朱强龙,等. 甜瓜白粉病不同生理小种发病环境条件分析[J]. 北方园艺,2018(16):35—40.
- [48] 王文平. 不同环境因子对番茄-病原互作的影响及其调控研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- [49] 李元,李想,何永美,等. UV-B 辐射增强对植物-病原菌互作体系的影响及评价[J]. 植物生理学报. 2015,51(10):1557—1566.

[50] 朱跌. 湖北省稻瘟病菌无毒基因分析及水稻品种抗瘟基
因型和田间抗性鉴定[D]. 武汉:华中农业大学,2014.

的稻瘟病抗性鉴定与评价[J]. 作物学报,2017,43(6):
795—810.

[51] 李旭升,向小娇,申聪聪,等. 水稻重测序核心种质资源

Effect of planting area environment on resistance
to powdery mildew in oats germplasm

SUN Hao-yang,ZHAO Gui-qin,CHAI Ji-kuan,ZENG Liang,JIAO Run-an,
JIN Xiao-wen,GONG Wen-long,LI Rong

(Key Laboratory of Grassland Ecology System,Ministry of Education,Sino-U. S. Centers for Grazing
Land Ecosystem Sustainability,College of Pratacultural Science,Gansu
Agricultural University,Lanzhou 730070,China)

Abstract: The resistance of 28 oat materials were assessed and evaluated based on the relative disease resist-
ance index with the method of naturally infection were used to explore the effect of planting area environment on
resistance to powdery mildew in oat germplasm. The HuaJialing town of Dingxi city in Semiarid area and forage
experimental station in Gansu agricultural university of Lanzhou city were selected as double shades areas of
Gansu Province. The results showed that among the 28 materials in two planting area,the resistance of 4641 and
99AS207 in the two pilots showed little change and highly resistance. 4607,Rigdon,DA92-3F4,Qingyongjiu-
252,Qingyongjiu-9 and Qingyongjiu-98 were all showed stable medium resistance to the powdery mildew in two
pilots,and other materials was unstable. But 4628,Galileo and Qingyongjiu-307 in the pasture station showed
high resistance to powdery mildew,high performance in HuaJialing and 709,Qingyongjiu-316,Qingyongji-49
planted in the pasture station showed high-sensation to powdery mildew,high resistance in HuaJialing. The rela-
tive disease resistance index of 4628 was the greatest change among all the tested materials,0 and 0. 92 at Hua-
jialing and Forage Station respectively. These results illustrated that planting area environments had a signifi-
cant impact on the resistance to powdery mildew in oats,the average severity of the oat material planted in the
pasture station is higher than that planted in the Hua Jialing.

Key words: planting area environment;oat germplasm;adult stage;powdery mildew resistance