

231 份麦类种质资源对大麦黄矮病毒的田间抗性鉴定

闫佳会 侯璐 姚强 郭青云*

(青海大学农林科学院, 农业部西宁作物有害生物科学观测实验站, 青海省农业有害生物
综合治理重点实验室, 西宁 810016)

摘要: 为明确不同麦类种质资源对大麦黄矮病毒(*Barley yellow dwarf viruses*, BYDV)的抗性差异, 于2015—2016年连续两年采用堆测法在田间人工接种鉴定了231份麦类种质资源的抗病性。结果表明, 不同麦类种质资源对BYDV引起的黄矮病的抗性存在较大差异, 2015—2016年, 克群、加麻白芒麦、墨沙、绿见口和灰木头的平均病情指数分别为20.40、22.28、23.08、22.34和13.08, 对黄矮病表现出较好的抗性; 团结红壳麦-K、红矮子、定兴寨、旱地小麦、小红狼、榔头麦、崢白毛、金包银、红四楞、赤壳须麦及和穗板麦的平均病情指数分别为74.68、71.62、70.36、68.44、65.17、64.74、63.29、60.97、55.78、56.42和53.21, 均大于50.00, 表现为高感; 其余种质资源的平均病情指数在25.00~50.00之间, 表现为感病。此外, 长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦初期表现感病, 后期可恢复健康, 有一定的耐病性。抗病性不同的麦类种质资源感染BYDV后, 对产量的影响差异很大, 其中抗病资源绿见口的产量损失率最低, 为8.87%, 耐病资源长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦的产量损失率依次为16.90%、17.40%、15.04%、13.13%、18.94%和11.57%, 而感病资源和穗板麦的产量损失率达43.57%。

关键词: 小麦黄矮病; 品种; 抗病性鉴定; 堆测法

Evaluation of the resistance of 231 wheat germplasm resources to *Barley yellow dwarf virus*

Yan Jiahui Hou Lu Yao Qiang Guo Qingyun*

(Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management, Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pest in Xining, Ministry of Agriculture; Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai Province, China)

Abstract: To definite the resistance difference of wheat germplasm resources to *Barley yellow dwarf viruses* (BYDV), 231 wheat germplasm resources were tested using artificially inoculated with viruliferous aphid *Schizaphis graminum* using hill plot technique on field in 2015 and 2016. The results showed that BYDV resistance were varied significantly among 231 wheat germplasm resources. The disease indexes of Kequn, Jiamabaimangmai, Mosha, Lǔjiankou and Huimutou were 20.40, 22.28, 23.08, 22.34 and 13.08, respectively, showed resistance to BYDV in 2015—2016. In contrast, Tuanjiehongkema-K, Hong'aizi, Dingxingzai, Handixiaomai, Xiaohonglang, Langtoumai, Zhengbaimao, Jinbaoyin, Hongsileng, Chikexumai and Hesuibanmai of which the disease indexes were 74.68, 71.62, 70.36, 68.44, 65.17, 64.74, 63.29, 60.97, 55.78, 56.42 and 53.21, respectively, for these wheat germplasm resources of which the disease indexes all was higher than 50.00, were considered to be highly susceptible to BYDV. The rest wheat germplasm resources with disease indexes ranging from 25.0 to 50.00 were susceptible to BY-

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303021), 青海省农林科学院创新基金(2014-NKY-05)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: guoqingyunqh@163.com

收稿日期: 2017-06-21

DV. Furthermore, six wheat germplasm resources, Changmangmang, Bingtangsexiaomai, Sumai, Hongpimai, Xiaohongsui and Qinglanmai, which showed susceptible to BYDV on early stage but alleviated or disappeared at grain-filling stage, these six wheat germplasm resources showed tolerance to BYDV. Significant difference was observed on yield loss when wheat germplasm resources contained different resistance were infected with BYDV. The yield loss of the germplasm resource, Lüjiankou was 8.87%, followed by tolerant varieties, Changmangmang, Bingtangsexiaomai, Sumai, Hongpimai, Xiaohongsui and Qinglanmai, with 16.90%, 17.40%, 15.04%, 13.13%, 18.94% and 11.57% yield loss, respectively, while susceptible variety Hesuibanmai showed the yield loss as high as 43.57%.

Key words: wheat yellow dwarf disease; germplasm; resistance identification; hill plot technique

小麦黄矮病在全世界范围内普遍发生,由大麦黄矮病毒(*Barley yellow dwarf virus*, BYDV)侵染引起,麦蚜传播为害。BYDV于20世纪50年代首次在美国加利福尼亚州被发现,该病毒引起的病毒病在国外被称为大麦黄矮病(Oswald & Houston, 1951),在国内被称为小麦黄矮病。小麦黄矮病是世界性病害,流行年份可造成小麦减产20%~30%,严重时可达50%以上,被称为小麦的“黄色瘟疫”和“癌症”(Conti et al., 1990)。在我国小麦主产区,例如华北、西北及东北等地区,小麦黄矮病曾数次暴发,普遍减产率达20%以上,个别危害严重区域减产超过50%(曹亚萍等, 2000; 张文斌等, 2009; 李娟等, 2010)。近年来,随着全球气候变暖,对于蚜虫越冬、繁殖和毒源保存尤为有利,使得小麦黄矮病在我国有蔓延之势(Wang & Zhou, 2003; 杨洋等, 2011; 闫佳会等, 2016)。2010年,小麦黄矮病在青海省东部麦区中度暴发流行,已成为该省麦类产业发展的重大威胁(翟浩和刘艳, 2011)。本课题组调查发现,2013年和2014年小麦黄矮病在青海省河湟麦区仍呈中度偏重发生;2015年青海省东部麦区(民和县、循化县、尖扎县、化隆县)小麦黄矮病总体呈中度发生,局部地区大发生,发生面积约7.34万hm²,其中涉及冬小麦约1.34万hm²,春小麦约4万hm²,青稞2万hm²;在燕麦种植区,发生面积约0.5万hm²,占总播种面积的40%。因此,有效防治小麦黄矮病对我国小麦稳产、高产具有重要意义,而当前最经济有效的方法是种植抗病品种。

在普通小麦中,普遍缺乏对BYDV有效的抗源(Fedak et al., 2001),仅有1个耐病基因*Bdv1*在耐病品种Anza中被鉴定出来(Singh, 1993)。*Bdv1*对BYDV-MAV株系具有一定的耐病性,仅能使成熟期感病植株黄化程度减慢,但不抗其它BYDV株系,在实际生产应用中具有很大的局限性(王凯, 2007)。目前,对BYDV表现为免疫或高抗的有效抗源均存

在于大麦*Hordeum vulgare* L.、冰草属*Agropyron*、偃麦草属*Elytrigia*、披碱草属*Elymus*、赖草属*Leymus*、鹅冠草属*Roegneria*等十几种小麦近缘植物中(Tao et al., 2012; Wang et al., 2013; Song et al., 2014),但将这些抗源导入到小麦中还存在一定困难。生产中,对于抗病品种的筛选进行了大量工作,但筛选到的抗病品种较少(于祥泉等, 2010; 闫佳会等, 2014; 张华伟等, 2014),因此,进一步筛选抗(耐)BYDV小麦品种对于黄矮病的防治具有举足轻重的作用。

从病害三角关系来看,黄矮病发生涉及到病原体(BYDV)、寄主(小麦)和传播介体(蚜虫)3个环节,理论上只要切断这3个环节中任一环节,均能达到控制病害的目的。由于蚜虫发生与病情和气候环境密切相关,难以准确预测预报,同时使用化学农药杀灭蚜虫易引起环境污染等问题,因此,选育和推广抗病品种成为防治该病害最安全、经济、有效的方法(张增艳和辛志勇, 2005)。但目前普通小麦品种中抗黄矮病资源相对缺乏,需要从小麦地方品种与近缘种中开展抗病性鉴定,以期筛选到抗病品种。因此,本研究采用堆测法于2015—2016年对231份麦类种质资源进行抗性鉴定,筛选抗(耐)性品种,以期小麦抗病育种提供理论依据,同时为寻找抗黄矮病基因提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种:231份麦类种质资源均由青海省农林科学院作物栽培育种研究所种质资源复份库提供。供试毒源包括BYDV的GAV与PAV株系,传毒介体包括麦二叉蚜*Schizaphis graminum*、麦长管蚜*Sitobion avenae*,均由中国农业科学院植物保护研究所提供。无毒蚜在小麦品种阿勃上饲养5代备用,置于光周期14 h:10 h、昼夜温度21℃/18℃、光照强度4 500 lx的人工气候箱中。毒源保存在燕麦上,

品种为岸黑,由中国农业科学院植物保护研究所提供,置于上述培养条件的培养箱中培养,备用。

药剂及仪器:70%吡虫啉(imidacloprid)水分散粒剂,浙江世佳科技有限公司。GXZ-380C人工气候箱,宁波江南仪器厂;MATABI背负式16型喷雾器,西班牙盖世堡公司。

1.2 方法

1.2.1 小麦黄矮病田间发病程度调查

对2015年和2016年青海省小麦黄矮病田间自然发病情况进行调查,以发病率为指标进行统计。调查地点选择小麦黄矮病常年发病区域循化县和贵德县,在每个县各选择能代表当地小麦主栽品种、种植方式(播期早晚、播种量、条播或撒播)、栽培条件(施肥和灌溉水平)和长势(好、中、差)的100块田,每块田单对角线5点取样,两头的点距地边2 m以上,其余3点等距取样,每点调查50株,调查发病情况,并计算发病率。发病率=发病株数/调查总株数×100%。按照冯崇川(1983)的方法确定病害流行程度,即:极轻:发病率<5%;轻度:5%≤发病率<10%;轻度偏中:15%≤发病率<20%;中度偏轻:20%≤发病率<35%;中度:35%≤发病率<45%;中度偏重:45%≤发病率<50%;大流行:发病率≥50%。

1.2.2 麦类种质资源田间抗病性鉴定试验

田间抗病性鉴定试验在青海省农林科学院植物保护研究所试验田采用堆测法进行,试验分为接种畦和对照畦。每份种质资源在两畦内各种植4穴,穴距0.25 m,每穴播种8~10粒,行距0.35 m,每品种重复3次。以阿勃和无芒中4分别作为感病对照和抗病对照。接种前,将无毒蚜放置在感染BYDV的2 cm岸黑燕麦叶片小段上,并置于工气候培养箱饲毒2 d。然后将带有蚜虫的岸黑燕麦叶片小段于小麦分蘖前期在大田内进行接种,每段约5头蚜虫,接种时每穴放入3段。接种后5 d,喷施70%吡虫啉水分散粒剂,施用量为45 g/hm²,为了减小发病率的误差,之后每半月喷施1次吡虫啉,连续喷施3次,防止接种外的毒蚜进行传毒发病。

1.2.3 小麦黄矮病田间发病情况的调查

在小麦拔节期至灌浆期调查黄矮病发生情况,记录发病级别及病叶。发病级别等级根据钱幼亭和周广和(1986)的11级分级标准进行判断。0级:健株;1级:部分叶尖黄化;2级:旗叶下1片叶黄化;3级:旗叶下2片叶黄化;4级:旗叶黄化1/4,旗叶下1片叶黄化;5级:旗叶黄化1/4,旗叶下2片叶黄化;6级:旗叶黄化;7级:旗叶黄化,旗叶下1片叶黄化;

8级:旗叶及旗叶下2片叶黄化;9级:植株矮化,但能抽穗;10级:植株矮化显著,不抽穗。用病情指数来衡量小麦品种的抗(耐)病性,高感:病情指数≥50.00;感病:25.00≤病情指数<50.00;抗病:病情指数<25.00(钱幼亭和周广和,1986)。病情指数=Σ(发病级别×相应各级病叶数)/(调查总叶数×最高级代表值)×100;病情指数降低率=(拔节期病情指数-灌浆期病情指数)/拔节期病情指数×100%。

1.2.4 小麦产量损失率的测定

小麦成熟后,按穴收获,测定每个处理的千粒重,计算小麦感染BYDV后的产量损失率。产量损失率=(健康小麦种子千粒重-接种小麦株种子千粒重)/健康小麦种子千粒重×100%。

1.3 数据分析

试验数据采用DPS 13.0软件进行统计分析,应用Tukey HSD法对病情指数、产量损失率以及病情指数降低率进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 小麦黄矮病田间发病程度

2015年青海省调查麦田中小麦黄矮病呈片发病,发病率约为22.00%,为中度发生年份;2016年小麦黄矮病呈点状发病,发病率约为9.00%,为轻度发生年。而试验田中,2015—2016年接种畦普遍发病,感病对照阿勃发病率达100.00%,抗病对照无芒中4仅零星发病,对照畦中小麦生长良好,均未发生黄矮病。说明试验接种成功,可以进行抗性鉴定评价,结果可靠。

2.2 麦类种质资源的抗病性鉴定结果

231份麦类种质资源抗性鉴定结果显示,不同麦类种质资源对黄矮病的抗性存在差异。其中,团结红壳麦-K、红矮子、定兴寨、旱地小麦、小红狼、榔头麦、崢白毛、金包银、红四楞、赤壳须麦及和穗板麦在2015—2016年的平均病情指数分别为74.68、71.62、70.36、68.44、65.17、64.74、63.29、60.97、55.78、56.42和53.21,均大于50.00,表现为高感。克群、加麻白芒麦、墨沙、绿见口和灰木头的平均病情指数分别为20.40、22.28、23.08、22.34和13.08,表现出较好的抗性。其余资源病情指数在25.00~50.00之间,表现感病(表1)。

2.3 小麦种质资源感染BYDV后的恢复现象

田间调查结果显示,长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦在灌浆期的病情指数明显小于拔节期,病情指数降低率分别为9.38%、10.22%、

11.26%、11.67%、14.47% 和 14.39%, 说明在这段生育期内这些麦类种质资源的黄矮病发病症状减轻, 并测定其产量, 发现产量损失率在 11.57%~18.94% 之间。而感病对照阿勃拔节期病情指数为 71.11, 灌

浆期病情指数上升至 73.15, 发病加重, 产量损失率达 42.95%。表明长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦对 BYDV 具有一定的耐病性(表 2)。

表 1 2015—2016 年麦类种质资源抗黄矮病的鉴定结果

Table 1 Evaluations of wheat germplasm resources for resistance to wheat yellow dwarf disease

麦类种质资源 Wheat germplasm resource	病情指数 Disease index			抗性评价 Resistance
	2015	2016	平均值 Average	
团结红壳麦-K Tuanjiehongkema-K	74.56±0.58	74.80±0.76	74.68±0.65 a	HS
红矮子 Hong'aizi	71.33±0.92	71.90±1.16	71.62±1.02 b	HS
阿勃(感病对照) Abo (Susceptible CK)	71.11±1.03	72.54±0.98	71.83±1.16 b	HS
定兴寨 Dingxingzhai	69.80±0.66	70.91±0.72	70.36±0.84 c	HS
旱地小麦 Handixiaomai	67.35±0.94	69.53±0.95	68.44±1.39 d	HS
小红狼 Xiaohonglang	65.18±0.83	65.15±0.64	65.17±0.66 e	HS
榔头麦 Langtoumai	64.25±1.01	65.23±0.80	64.74±0.95 e	HS
峥白毛 Zhengbaimao	63.66±0.96	62.91±0.77	63.29±0.86 f	HS
金包银 Jinbaoyin	60.97±1.25	60.97±0.48	60.97±0.80 g	HS
红四楞 Hongsileng	55.95±0.96	55.60±0.51	55.78±0.68 h	HS
赤壳须麦 Chikexumai	54.55±1.54	58.27±0.71	56.42±2.12 g	HS
和穗板麦 Hesuibanmai	53.77±1.69	52.64±0.71	53.21±1.23 i	HS
克群 Kequn	20.69±1.41	20.10±0.81	20.40±1.04 k	R
加麻白芒麦 Jiamabaimangmai	22.16±1.49	22.39±0.70	22.28±1.00 j	R
墨沙 Mosha	22.66±1.16	23.50±0.74	23.08±0.95 j	R
绿见口 Lujiankou	22.76±0.77	21.91±0.70	22.34±0.79 j	R
灰木头 Huimutou	14.05±0.89	12.11±0.64	13.08±1.18 l	R
中4(抗病对照) Zhong 4 (Resistance CK)	13.35±1.13	14.18±0.86	13.77±0.98 l	R

HS: 高感; R: 抗病。表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同字母表示经 Tukey HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。HS: Highly susceptible; R: resistance. Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey HSD test.

表 2 大麦黄矮病毒侵染麦类种质资源后拔节期与灌浆期病情指数变化

Table 2 Change of disease index at jointing and grain-filling stages of wheat germplasm resources infected by Barley yellow dwarf virus

小麦品种 Wheat germplasm resource	病情指数 Disease index			产量损失率 Yield loss rate (%)
	拔节期 Jointing stage	灌浆期 Grain-filling stage	降低率 (%) Reduction rate	
长芒芒 Changmangmang	27.54±0.84 e	18.16±0.51 e	9.38±0.79 d	16.90±1.23 c
冰糖色小麦 Bingtangsexiaomai	28.00±0.78 e	17.78±0.38 e	10.22±1.13 cd	17.40±1.26 bc
苏麦 Sumai	33.10±0.29 d	21.84±0.43 c	11.26±0.38 bc	15.04±0.76 d
红皮麦 Hongpimai	33.07±0.20 d	21.39±1.03 cd	11.67±0.85 b	13.13±0.28 e
小红穗 Xiaohongsui	34.91±0.71 c	20.44±0.79 d	14.47±0.39 a	18.94±1.07 b
青兰麦 Qinglanmai	39.10±0.62 b	24.71±0.44 b	14.39±0.92 a	11.57±0.26 e
中4(抗病对照) Zhong 4 (Resistance CK)	13.38±1.13 f	13.35±1.13 f	0.03±0.04 e	8.29±1.79 a
阿勃(感病对照) Abo (Susceptible CK)	71.11±1.03 a	73.15±0.80 a	-2.05±0.26 f	42.95±0.62 f

表中病情指数数据均为 2015—2016 年 2 年平均数。表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同字母表示经 Tukey HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Disease index are the average data in 2015—2016. Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey HSD test.

2.4 BYDV 侵染后对小麦产量的影响

BYDV 侵染后,不同麦类资源产量不同。抗病资源绿见口、墨沙、克群、加麻白芒麦、灰木头的产量损失率分别为 8.87%、9.53%、12.10%、12.42% 和 12.96%,抗病资源长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦的产量损失率依次为 16.90%、

17.40%、15.04%、13.13%、18.94% 和 11.57%。而感病资源和穗板麦产量损失率达 43.57%,且抗病和耐病资源的产量损失率与感病资源对比均存在显著差异(表 3)。表明具有抗病和耐病性的麦类种质资源在病毒侵染后对其产量影响很小,而对感病资源影响较大,产量损失较大。

表 3 麦类种质资源感染大麦黄矮病毒后对小麦千粒重及产量损失的影响

Table 3 Influences of thousand kernel weight of wheat germplasm resources infected with *Barley yellow dwarf virus* and the yield losses caused by disease

小麦品种 Wheat germplasm resource	千粒重 Thousand kernel weight (g)		产量损失率 (%) Yield loss rate
	发病植株 Infected host	健康植株 Health host	
加麻白芒麦 Jiamabaimangbai	37.52±0.38 b	42.85±0.33 ab	12.42±1.45 k
团结红壳麦-K Tuanjiehongkema-K	22.23±0.83 ij	35.68±0.51 fg	37.71±1.50 e
长芒芒 Changmangmang	31.51±0.31 gh	37.92±0.37 de	16.90±1.23 ij
墨沙 Mosha	39.96±0.41 a	44.17±0.17 a	9.53±0.59 l
定兴寨 Dingxingzhai	22.79±0.39 i	36.26±0.87 fg	37.12±1.54 e
旱地小麦 Handixiaomai	24.25±0.83 de	39.79±0.43 fg	39.07±1.43 de
绿见口 Lujiankou	30.99±0.39 k	34.01±0.55 de	8.87±0.73 l
红皮麦 Hongpimai	32.23±0.18 gh	37.11±0.24 de	13.13±0.28 k
小红狼 Xiaohonglang	22.05±0.14 c	41.65±0.42 fg	47.04±0.86 a
榔头麦 Langtoumai	25.52±0.82 fg	38.89±0.65 f	34.40±1.43 f
克群 Kequn	30.57±0.43 jk	34.78±0.48 de	12.10±0.04 k
金包银 Jinbaoying	21.93±0.47 l	32.78±0.23 fg	33.10±0.98 fg
红四楞 Hongsileng	21.13±0.60 ef	39.06±0.46 g	45.90±1.79 a
小红穗 Xiaohongsui	29.79±0.27 i	36.76±0.18 e	18.94±1.07 h
青兰麦 Qinglanmai	33.86±9.29 a	44.23±0.32 cd	11.57±0.26 k
红矮子 Hong'aizi	23.47±0.55 cd	40.23±0.33 fg	41.68±1.02 bc
峥白毛 Zhengbaimao	22.94±0.47 gh	38.21±0.26 fg	39.97±1.61 cd
灰木头 Huimutou	30.70±0.61 ij	35.27±0.44 de	12.96±0.65 k
赤壳须麦 Chikexumai	24.96±0.78 i	36.67±0.37 f	31.94±1.46 g
和穗板麦 Hesuibanmai	22.59±0.48 cd	40.04±0.22 fg	43.57±1.05 b
冰糖色小麦 Bingtangsexiaomai	35.71±0.84 b	43.23±0.36 bc	17.40±1.26 hi
苏麦 Sumai	37.55±0.71 a	44.19±0.47 ab	15.04±0.76 j
中 4(抗病对照) Zhong 4 (Resistance CK)	22.16±0.28 fg	38.85±0.90 fg	42.95±0.62 b
阿勃(感病对照) Abo (Susceptible CK)	31.56±0.61 jk	34.41±0.25 de	8.29±1.79 l

表中数据为平均数±标准差。同列数据后不同字母表示经 Tukey HSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey HSD test.

3 讨论

田间自然发病鉴定和人工接种鉴定均属于田间抗性鉴定。田间自然发病鉴定虽然能够很好地模拟田间发病情况,减少接种工作量,但这种方法更适合

应用在抗性鉴定的初次筛选阶段。本研究采用的是田间人工接种鉴定方法,因为 BYDV 是由麦蚜传播,而麦蚜的发生动态受气候等因素的影响十分明显,导致年度蚜虫发生情况存在较大差异,从而使得田间麦苗感病不均。而人工接种可以很好地弥补这

一不足,使所有待测种质资源都能感染病毒。

本研究依托青海省农林科学院作物栽培育种研究所种质资源复份库,收集213份麦类种质资源开展抗黄矮病鉴定。结果显示,在田间接种BYDV后,接种畦中感病对照阿勃发病率达100.00%,抗病对照无芒中4仅零星发病,而对照畦中小麦生长良好,均未发病,说明接种试验成功,可以进行抗性鉴定评价,其结果具有可靠性和说服力。在连续2年的试验中,所有种质资源均表现出抗性差异。本研究成功筛选出克群、加麻白芒麦、墨沙、绿见口和灰木头5个抗病资源,这类种质资源在感染病毒后病情指数较低,产量影响相对较小,可以在青海省小麦黄矮病常发区域如贵德县、尖扎县、循化县等东部农业区种植;长芒芒、冰糖色小麦、苏麦、红皮麦、小红穗和青兰麦6个麦类种质资源在感染病毒后,灌浆期病情指数明显小于拔节期,出现恢复现象(Baulcombe, 2004),同时感染病毒后对这6个麦类种质资源的产量影响较小,产量损失率在11.57%~18.94%之间,但产量损失率平均达15.50%,而高感品种小红狼的产量损失率达47.04%,表明这6个耐病种质资源虽然表现出一定的耐病性,但仍不宜大面积田间生产应用。这与张华伟等(2014)、段敏等(2017)报道的普通小麦中基本不存在高抗品种的结论相吻合。

对于抗小麦黄矮病品种的筛选主要包括抗病、耐病和抗蚜3个方面,我国学者对小麦抗、耐病资源做了大量研究,发现我国农家小麦品种多为耐病品种(刘新伦等,2014),这与本研究结果中耐病资源较多相一致。自20世纪50年代小麦黄矮病被发现以来,国内外学者即开展了大量发掘黄矮病抗源的工作,迄今为止,在小麦初级基因库中尚未发现真正的抗性材料(减少病毒浓度),但从小麦近缘属,如偃麦草属等鉴定出十种植物对BYDV免疫或高抗(张增艳和辛志勇,2005;刘新伦等,2014)。本研究筛选的5份抗病资源和6份耐病资源的抗性水平及应用潜力方面有待于进一步验证。

参 考 文 献 (References)

- Baulcombe D. 2004. RNA silencing in plants. *Nature*, 431(7006): 356–363
- Cao YP, Zhang MY, Qiao HX, Fan SQ, Wang QL. 2000. Genetic analysis on character of the resistance to BYDV in winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 20(4): 12–16 (in Chinese) [曹亚萍, 张明义, 乔合心, 范绍强, 王全亮. 2000. 冬小麦黄矮病抗性的遗传分析. 麦类作物学报, 20(4): 12–16]
- Conti M, D'Arcy CJ, Jedlinski H, Burnett PA. 1990. The “yellow plague” of cereals, *Barley yellow dwarf virus*.//Burnett PA. World perspectives on *Barley yellow dwarf virus*. Mexico: CIMMYT, pp. 1–6
- Duan M, Yan JH, Guo QY. 2017. Evaluation of wheat germplasm resource resistance to *Barley yellow dwarf virus* of Qinghai Province. *Journal of Plant Protection*, 44(2): 203–208 (in Chinese) [段敏, 闫佳会, 郭青云. 2017. 青海省小麦种质资源对大麦黄矮病毒的抗性鉴定. 植物保护学报, 44(2): 203–208]
- Fedak G, Chen Q, Conner RL, Laroche A, Comeau A, St-Pierre CA. 2001. Characterization of wheat-*Thinopyrum* partial amphiploids for resistance to *Barley yellow dwarf virus*. *Euphytica*, 120(3): 373–378
- Feng CC. 1983. A study on index of spring abundance and prediction of winter wheat yellow dwarf disease. *Journal of Plant Protection*, 10(2): 118 (in Chinese) [冯崇川. 1983. 冬小麦黄矮病春季流行指标与预测预报的研究. 植物保护学报, 10(2): 118]
- Li J, He ZC, Ren FP, An DR, Zhang WB. 2010. Analysis of the wheat yellow dwarf epidemic and its predicting model of BP neural network in northwestern China. *Journal of Plant Protection*, 37(3): 261–265 (in Chinese) [李娟, 何振才, 任福平, 安德荣, 张文斌. 2010. 西北地区小麦黄矮病流行分析及人工神经网络模型的构建. 植物保护学报, 37(3): 261–265]
- Liu XL, Wang CY, Wang YJ, Zhang H, Ji WQ. 2014. Screening and evaluation of different wheat varieties for resistance to English grain aphid *Sitobion avenae* at seedling and adult-plant stages. *Journal of Plant Protection*, 41(2): 216–224 (in Chinese) [刘新伦, 王长有, 王亚娟, 张宏, 吉万全. 2014. 不同小麦品种资源苗期和成株期麦长管蚜抗性鉴定和分析. 植物保护学报, 41(2): 216–224]
- Oswald JW, Houston BR. 1951. A new virus disease of cereals, transmitted by aphid. *The Plant Disease Reporter*, 35: 471–475
- Qian YT, Zhou GH. 1986. Studies on screening technique for *Wheat yellow dwarf virus* in the field. *Journal of Plant Protection*, 13(3): 159–164 (in Chinese) [钱幼亨, 周广和. 1986. 麦类种质资源抗耐小麦黄矮病毒的田间鉴定技术研究. 植物保护学报, 13(3): 159–164]
- Singh RP. 1993. Genetic association of gene *Bdv1* for tolerance to *Barley yellow dwarf virus* with genes *Lr34* and *Yr18* for adult plant resistance to rusts in bread wheat. *Plant Disease*, 77: 1103–1106
- Song S, Tao Y, Zhao L, Liu P, Wu Y. 2014. Isolation and characterization of complete genome of *Barley yellow dwarf virus*-GAV from wheat in northwestern China. *Cereal Research Communications*, 42(4): 620–628
- Tao Y, Man JY, Wu YF. 2012. Development of a multiplex polymerase chain reaction for simultaneous detection of wheat viruses and phytoplasma in China. *Archives of Virology*, 157(7): 1261–1267
- Wang K. 2007. Isolation and functional analysis of early response genes in BYDV resistance in wheat (*Triticum aestivum*). Ph. D Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese)

- Chinese) [王凯. 2007. 小麦抗黄矮病早期反应基因的分离及功能分析. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院]
- Wang XD, Liu Y, Chen L, Zhan D, Wang XF, Zhang ZY. 2013. Wheat resistome in response to *Barley yellow dwarf virus* infection. *Functional & Integrative Genomics*, 13(2): 155–165
- Wang XF, Zhou GH. 2003. Identification of a protein associated with circulative transmission of *Barley yellow dwarf virus* from cereal aphids, *Schizaphis graminum* and *Sitobion avenae*. *Chinese Science Bulletin*, 48(19): 2083–2087
- Yan JH, Guo QY, Yao Q. 2014. Evaluation of the resistance of leading wheat cultivars of Qinghai to BYDV. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 60(5): 6–8, 33 (in Chinese) [闫佳会, 郭青云, 姚强. 2014. 青海省主栽品种对小麦黄矮病的抗性鉴定. 陕西农业科学, 60(5): 6–8, 33]
- Yan JH, Yao Q, Guo QY. 2016. Effects of ten kinds of plant virus inhibitor on controlling wheat yellow dwarf. *Plant Protection*, 42(1): 238–242 (in Chinese) [闫佳会, 姚强, 郭青云. 2016. 10种病毒抑制剂对小麦黄矮病的防治效果. 植物保护, 42(1): 238–242]
- Yang Y, Liu JH, Zhao Z, Wu YF. 2011. Simultaneous detection of *Barley yellow dwarf virus* by multiplex PCR in Shaanxi. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 20(11): 170–174 (in Chinese) [杨洋, 刘金虎, 赵震, 吴云锋. 2011. 陕西小麦黄矮病病原种类的多重PCR检测. 西北农业学报, 20(11): 170–174]
- Yu XQ, Chen W, Wu YF, Zhao Z, Zhang H. 2010. Investigation of wheat varieties on resistance to BYDV and detection of BYDV population by multiplex PCR. *Journal of Triticeae Crops*, 30(6): 1053–1057 (in Chinese) [于祥泉, 陈旺, 吴云锋, 赵震, 张昊. 2010. 小麦黄矮病品种抗病性调查及种群多重PCR检测. 麦类作物学报, 30(6): 1053–1057]
- Zhai H, Liu Y. 2011. Identification of *Barley yellow dwarf viruses* (BY-DVs) strains in Qinghai Province and analysis of evolution based on *CP* gene. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(24): 253–257 (in Chinese) [翟浩, 刘艳. 2011. 青海省大麦黄矮病毒的种类型鉴定及基于 *CP* 基因的分子进化研究. 中国农学报, 27(24): 253–257]
- Zhang HW, Soumou WN, Tao Y, Song S, Liu F, Wu YF. 2014. Evaluation of the resistance of wheat varieties and germplasm resources to BYDV- GAV. *Journal of Plant Protection*, 41(5): 584–589 (in Chinese) [张华伟, Soumou WN, 陶烨, 宋爽, 刘斐, 吴云锋. 2014. 麦类品种与种质资源对大麦黄矮病毒 GAV 的田间抗性鉴定. 植物保护学报, 41(5): 584–589]
- Zhang WB, Ren XH, An DR, He ZC. 2009. Control effect of several agrochemicals on wheat yellow dwarf. *Journal of Triticeae Crops*, 29(5): 930–933 (in Chinese) [张文斌, 任向辉, 安德荣, 何振才. 2009. 几种药剂对小麦黄矮病的防治效果. 麦类作物学报, 29(5): 930–933]
- Zhang ZY, Xin ZY. 2005. Research of resistance of wheat yellow dwarf in biotechnology breeding. *Crops*, (5): 4–7 (in Chinese) [张增艳, 辛志勇. 2005. 抗黄矮病小麦生物技术育种研究进展. 作物杂志, (5): 4–7]

(责任编辑:李美娟)