抗白粉病胡麻种质资源田间鉴定与筛选

罗俊杰， 叶春雷， 欧巧明， 李进京， 陈 琛， 王 炜*

（甘肃省农业科学院生物技术研究所，兰州 730070）

摘要 白粉病目前已成为影响胡麻产量和质量最常见的病害之一，种植抗病品种是防控病害最经济环保的有效措施，然而抗病亲本材料的缺乏已成为制约抗病品种选育的关键因素。为筛选出抗白粉病胡麻材料，本研究在田间自然感病的条件下，采用病情指数法对300份国内外胡麻种质资源材料进行了抗白粉病鉴定和评价。结果表明，所有供试材料均程度不同地感染胡麻白粉病，无免疫材料，仅有5份材料为中抗；其余295份均为感病材料，其中8份材料中感，52份材料感病，235份材料高度感病。本研究可为抗白粉病胡麻品种的培育及相关抗病基因的发掘提供参考。

关键词 胡麻； 白粉病； 种质资源； 抗性鉴定

中图分类号： S 435.24 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2018407

Field identification and screening of oil flax resources with resistance to powdery mildew

LUO Junjie， YE Chunlei， OU Qiaoming， LI Jinjing， CHEN Chen， WANG Wei

（*Bio-technology Institute*, *Gansu Academy of Agricultural Sciences*, *Lanzhou* 730070, *China*）

Abstract Powdery mildew has become one of the common diseases affecting yield and quality in oil flax at present. Planting resistant cultivars is the most economic, environment-friendly and effective way to prevent and control the disease, while the critical restriction factor in breeding resistant varieties is lack of resistant hybrid parents. With the object to screen oil flax materials with resistance to powdery mildew, the method of disease index was applied to determine and evaluate 300 oil flax germplasm resources in field natural infection. The result showed all of the tested materials were infected variously in extent by powdery mildew. There were no single material immune to the disease, only 5 materials showed moderate resistance. The rest of 295 materials were susceptible to the disease, there were 8 materials showed moderate susceptible, 52 susceptible and 235 highly susceptible. The result can provide references for breeding of oil flax varieties with resistance to powdery mildew and exploring the relevant resistant genes.

Key words oil flax； powdery mildew； germplasm resource； resistance identification

胡麻为油用亚麻的俗称，是干旱和半干旱区重要的油用和经济作物[1]。白粉病目前已成为国内外大部分胡麻种植区最常见的病害之一，近年来在我国甘肃、新疆、河北、内蒙古等胡麻主产区时有大面积发生，严重影响胡麻的产量和质量。胡麻白粉病的病原菌为 *Oidium lini* Skoric(胡麻粉孢)，属子囊菌门真菌，其病原菌寄生专化性较强，而且在一个生长季节中可多次重复侵染，导致胡麻白粉病大暴发[2-3]。胡麻白粉病目前主要使用农药在发病初期进行防治，但防治效果大多较差且会导致种植成本增加，同时也在一定程度上造成了环境污染。种植抗病品种并进行抗病基因的合理布局是防控包括白粉病、锈病等在内的作物病害的经济、有效和环保、安全的途径[4-6]。然而据相关研究者[2, 7-9]及本文作者多年的调查，国内主栽胡麻品种中极为缺乏抗白粉病材料。因此，鉴定和筛选抗白粉病胡麻资源以用于抗白粉病胡麻品种的培育，是目前急需开展的工作。国外如印度、埃及、加拿大从20世纪80年代

收稿日期： 2018-09-20 **修订日期：** 2018-10-11

基金项目： 甘肃省农业科学院科技支撑项目(2017GAAS35)；甘肃省农业科学院科技创新工程学科团队(2015GAAS02)；国家特色油料产业体系胡麻兰州综合试验站(GARS-17-SYZ-6)

* 通信作者 E-mail：sjswangwei@gsagr.ac.cn

末就开始了这方面的研究，相继筛选出了一些抗病种质[3,10]。我国对于亚麻种质资源的抗白粉病鉴定筛选研究较少，迄今为止仅有乔红霞等[2]、何建群等[11]和王玉富等[12]的3篇报道，同时这些研究除了筛选出的抗病种质材料少之外，均为1年的试验结果，而由于种植地区的变化、气候环境的不同以及白粉病生理小种的变异，一些抗病材料并不能一直保持其抗性。基于以上认识，本研究对搜集引进的300份国内外胡麻种质资源进行了两年(2016－2017年)的田间抗白粉病鉴定，以期筛选出抗病种质，为抗白粉病胡麻品种的培育及相关抗病基因的发掘提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料300份，其中尚未进行过白粉病鉴定的材料295份，引自甘肃省农作物种质资源保存库；5份为Rashid和Duguid[3, 13]在加拿大筛选出的抗白粉病材料AC Emerson、AC Watson、AC McDuff、Atalante与Linda，引自加拿大植物资源保存中心(Plant Gene Resources of Canada，PGRC)。

1.2 方法

1.2.1 田间鉴定圃设计

田间鉴定圃位于甘肃省兰州市安宁区甘肃省农业科学院院内试验地，前茬为小麦。试验材料分两批分别于2016－2017年3月下旬播种，采用人工开沟撒播，每份材料种植2行，行距0.2 m，行长1.2 m，种植密度为500万粒/hm^2，鉴定圃两边各种植2行保护行。生育期期间不施用任何杀菌剂，其余均按大田常规管理。

1.2.2 抗白粉病田间调查与鉴定

在7月中旬，待田间胡麻白粉病普遍发生时对供试材料的感病情况进行观察记载。每份材料随机选取20株，参照杨学等[15]、沈成等[16]及李进京等[17]的方法进行病情分级，具体如下：0级，无侵染病症；1级，植株有1/3以下的叶片发病，白粉模糊不清；2级，植株有1/3～2/3的叶片发病，白粉较为明显；3级，植株有2/3以上的叶片发病，白粉层较厚、连片；4级，白粉层较厚，叶片开始变黄、坏死；5级，植株有2/3以上的叶片变黄、坏死。

根据病级计算病情指数，公式为：

$$DI = \sum(s_i n_i)/5N,$$

式中，DI为病情指数，s_i为发病级别，n_i为相应发病级别的株数，N为调查的总株数。依据各材料两年抗白粉病鉴定结果的平均值，按以下标准进行抗性评价：病情指数$DI=0$为免疫；$0<DI<10$为高抗(high resistance，HR)；$10\leqslant DI<20$为抗病(resistance，R)；$20\leqslant DI<40$为中抗(moderate resistance，MR)；$40\leqslant DI<60$为中感(moderate susceptible，MS)；$60\leqslant DI<80$为感病(susceptible，S)；$DI\geqslant 80$为高感(high susceptible，HS)。

1.2.3 主要农艺性状记载

按照《油用亚麻种质资源描述规范和数据标准》[17]对生育期、株高、单株果数、千粒重等主要农艺性状进行调查记载及考种。

1.2.4 数据的统计分析及作图

采用Excel 2003软件进行数据统计及作图，用SPSS 19.0软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 供试胡麻材料主要农艺性状的变异分析

供试的300份胡麻种质资源的主要农艺性状变异情况见表1。

表1 胡麻种质资源的主要农艺性状变异分析[1)]

Table 1 Variation of agronomic traits in tested oil flax germplasm resources

变异参数 Variation of parameter	生育期/d Growth stage	株高/cm Plant height	分枝数/枝 Branches	单株果数/个 Berries per plant	每果粒数/粒 Pods per plant	千粒重/g 1 000-grain weight
最小值 Min	95.33	41.60	0.00	3.77	2.92	3.01
最大值 Max	126.76	98.30	8.15	92.11	9.28	9.04
平均值 Mean	105.53	69.71	3.46	29.38	7.27	5.26
标准差 SD	8.08	10.15	0.87	10.66	1.02	0.97
极差 Variability	31.43	62.70	8.15	88.34	6.36	6.03
变异系数/% CV	17.13	16.72	25.14	36.28	14.03	18.44

1) 表中数据为两年数据的平均值。下同。
The data in the table is the mean of two years; the same as in the following.

可以看出,在记载观察的 6 个主要农艺性状中,变异幅度均达到 10%以上,变异系数在 14.03%～36.28%之间,其中以单株果数的变异幅度最大,而每果粒数的变异幅度最小。各农艺性状的变异系数按从高到低依次为单株果数、分枝数、千粒重、生育期、株高、每果粒数。由此可见,供试的胡麻种质资源材料的主要农艺性状变异丰富,进一步进行抗白粉病鉴定具有可行性。

2.2　胡麻种质资源白粉病抗性鉴定结果

总体而言,两年的白粉病发病情况基本相似,2016 年首次发病时间为 6 月 19 日,2017 年则为 6 月 13 日,2016－2017 年 7 月中旬时均达到白粉病盛发期。供试胡麻材料两年白粉病病情指数的方差分析结果表明(表 2),供试材料之间抗病性具有极显著差异($P<0.001$),但年际间差异不显著,这与两年白粉病总体发病情况相似相关。

表 2　胡麻种质资源白粉病病情指数的方差分析

Table 2　Analysis of variance (ANOVA) of disease index for powdery mildew in oil flax germplasm resources

评价指标 Evaluation index	变异来源 Source of variation	自由度 *df*	均方 Mean square	*F* 值 *F*-value	显著性 Significance
病情指数 Disease index	材料 Material	299	327.78	9.07	0.000
	年份 Year	1	2.41	0.07	0.797
	试验误差 Error	299	36.15		
	总变异 Total variation	599			

在 300 份胡麻供试材料中,两年各材料的平均病情指数在 25.0～98.0 之间,所有材料的平均病情指数为 86.6,说明两年发病较重,同时未监测出对白粉病免疫及高抗的材料。统计结果表明(图 1、表 3),中抗的材料有 5 份,分别为‘公系 32 号’、‘河北大粒’、‘71－426’、‘谢列波’和‘KARNOBAT 1410 1.1’,占参试材料的 1.67%;其余 295 份材料均表现感病,其中中感材料(MS)8 份,占 2.67%,感病材料(S)52 份,占 17.33%;高感材料(HS)235 份,占 78.33%。在筛选出的 5 份抗病材料中,4 份来自于中国,另外 1 份的来源未知。此外,引进的 5 份在加拿大鉴定为抗白粉病的材料(1.1),无一例外均表现为高度感病(病情指数在 90 以上,表 3)。

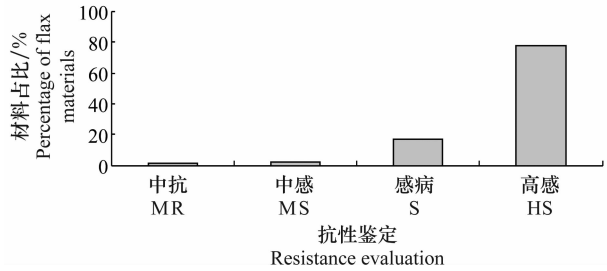

图 1　供试胡麻材料对白粉病不同抗性类型的占比

Fig. 1　Ratio of the tested oil flax materials with different resistance to powdery mildew

表 3　抗病胡麻材料及部分感病材料的病情指数、抗性评价及来源

Table 3　Disease index, resistance evaluation and sources of the whole resistant and some of the susceptible oil flax materials

抗性评价 Resistance evaluation	材料 Material	病情指数 Disease index	来源 Source	抗性评价 Resistance evaluation	材料 Material	病情指数 Disease index	来源 Source
中抗 MR	公系 32 号 Gongxi 32	25	中国 China	感病 S	48 早 48 Zao	61	中国 China
	河北大粒 Hebeidali	28	中国 China		SADD. S ENGL	64	希腊 Greece
	71－426	33	中国 China		平鲁金点 Pinglujindian	71	中国 China
	谢列波 Xieliebo	35	未知 Unknown		沙湾白 Shawanbai	74	中国 China
	KARNOBAT 1410 1.1	37	中国 China		P. I. 281460	76	阿根廷 Argentina
中感 MS	五-27 号 Wu-27	40	中国 China	高感 HS	VALACHIE 1.5-7	81	法国 France
	晋亚 3 号 Jinya 3	55	中国 China		大宁胡麻 Daninghuma	87	中国 China
	坝选 3 号 Baxuan 3	56	中国 China		AC McDuff	90	加拿大 Canada
	商都大桃 Shangdudatao	57	中国 China		Linda	91	加拿大 Canada
	028-2	59	法国 France		Atalante	94	加拿大 Canada
	P. I. 179352	59	土耳其 Turkey		AC Watson	94	加拿大 Canada
	NORSTAR×BRLINE456	59	美国 America		AC Emerson	95	加拿大 Canada
	盐池胡麻 Yanchihuma	59	中国 China		AFGHANISTAN	98	波兰 Poland

3 结论与讨论

白粉病目前已成为胡麻产区的主要病害之一，由于缺乏抗病品种，一旦温度和湿度等环境条件适宜，胡麻白粉病就会大暴发，呈现出发病时间短、流行速度快等特点，严重影响胡麻产量和质量，从而进一步影响农民增收和胡麻产业的发展[3, 18-19]。胡麻白粉病目前主要采用三唑类、甲氧基丙烯酸酯类等农药进行防治[16, 20-21]。药剂防治不仅导致种植成本的增加，还造成环境污染。种植抗病品种是防治作物病害最经济环保和可持续发展的方式，也成为胡麻育种者主要的育种目标之一[23]。对胡麻种质资源材料进行抗病鉴定和筛选，是解决目前抗病亲本极度缺乏的困境和制约抗病品种培育的重要途径之一。

相对于黄瓜、甜瓜和小麦等农作物，人们对胡麻白粉病的研究较少，且目前国内尚未有对白粉病生理小种的分离鉴定等研究报道。因此，对于胡麻白粉病鉴定，主要在田间自然发病条件下进行。本研究对国内外 300 份胡麻种质资源主要农艺性状的分析发现(表 1)，这些材料农艺性状的多样性丰富，反映了其遗传基因的多样性，有利于白粉病抗性鉴定筛选。对这些材料连续两年的田间抗白粉病鉴定结果表明，其中无免疫及高抗材料，且仅有 5 份材料('公系 32 号'、'河北大粒'、'71-426'、'谢列波'和'KARNOBAT 1410 1.1')表现为中抗(表 3)，这说明胡麻抗白粉材料尤其是抗性良好的材料极度缺乏，这与乔红霞和陈娟[2]的研究结果相似，在其所鉴定的 53 份胡麻种质中，仅'西吉胡麻'表现为抗病。引进的 5 份在加拿大鉴定为抗白粉病的胡麻材料(AC Emerson、AC Watson、AC McDuff、Atalante 和 Linda)[3,13]，两年的病情指数均在 90 以上(表 3)，表现为极度感病，说明在不同的气候条件和种植区域可能因白粉病生理小种的不同而使其丧失了抗病性。因此，对于本试验研究中所筛选出的抗病材料，还需要进行多年多点的鉴定，以便筛选出对不同生理小种具有抗性的胡麻材料。

中国作为全球主要的胡麻产区之一，胡麻产量和种植面积分别位列世界第二和第三[24]。然而与其他主要胡麻种植国如加拿大、印度等国相比，我国对于胡麻抗白粉病种质资源的鉴定筛选研究工作还较为落后。从 20 世纪 80 年代末开始，这些国家的研究者就相继开展了这方面的工作，鉴定筛选出了一批抗白粉病材料，并进一步对胡麻白粉病进行了 QTL 定位研究[3, 13, 24-25]。此类研究为抗病品种的培育提供了重要支持，最近 Rashid[26]的研究结果即为最好的例证：连续 4 年(2012－2016 年)的田间白粉病抗性鉴定结果表明，90%的加拿大主栽胡麻品种表现抗病。由此可见，进一步加强这方面的工作迫在眉睫。

参考文献

[1] 王利民，张建平，党照，等. 胡麻两系杂交亲本的配合力及杂种优势分析[J]. 中国农业科学，2016，49(6)：1047-1059.

[2] 乔红霞，陈娟. 亚麻种质对白粉病的抗性评价[J]. 中国麻业科学，2012，34(3)：118-120.

[3] RASHID K，DUGUID S. Inheritance of resistance to powdery mildew in flax [J]. Canadian Journal of Plant Pathology，2005，27(3)：404-409.

[4] 杨立军，曾凡松，龚双军，等. 68 个主推小麦品种的白粉病抗性分析及基因推导[J]. 中国农业科学，2013，46(16)：3354-3368.

[5] 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)：1-6.

[6] 陈万权. 小麦重大病虫害综合防治技术体系[J]. 植物保护，2013，39(5)：16-24.

[7] 赵德宝，谢冬微，杨学，等. 亚麻白粉病研究进展[J]. 黑龙江农业科学，2016(12)：148-151.

[8] 哈尼帕·哈再斯，张辉，王振华，等. 新疆伊犁地区胡麻白粉病发生与消长规律研究[J]. 中国麻业科学，2013，35(3)：155-158.

[9] 刘惠霞，杨荣洲，汪国锋. 对防治胡麻白粉病中使用杀菌剂的药效初探[J]. 农业与技术，2015，35(22)：25.

[10] MOHAMED H，ELHADY A A，MANSOUR M，et al. Association of oxidative stress components with resistance to flax powdery mildew [J]. Tropical Plant Pathology，2012，37(6)：386-392.

[11] 何建群，陈贵荟，李靖军，等. 亚麻品种白粉病田间抗病性分析[J]. 中国麻业科学，2007(3)：141-144.

[12] 王玉富，贾婉琪，薛召东，等. 国外引进亚麻种质资源的聚类分析及评价[J]. 植物遗传资源学报，2010，11(5)：548-554.

[13] ASGARINIA P，CLOUTIER S，DUGUID S，et al. Mapping quantitative trait loci for powdery mildew resistance in flax (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Crop Science，2013，53(6)：2462-2472.

[14] 杨学，李柱刚，关凤芝，等. 亚麻白粉病发生规律研究[J]. 中国麻业科学，2007(2)：86-89.

[15] 沈成，康爱国，李爱荣. 2010 年张家口市胡麻白粉病发生影响因素分析[J]. 中国植保导刊，2011，31(10)：35-38.

[16] 李进京，叶春雷，谢志军. 5 种药剂对胡麻白粉病的防效[J]. 甘肃农业科技，2015(9)：46-48.

[17] 王玉富，栗建光. 亚麻种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社，2006：1-99.

(下转 268 页)

间试验获得的结果有一定偏差。因此，本研究筛选出的单剂和混剂配比还需田间试验进一步验证。

参考文献

[1] 池振江. 适于新疆红枣主要病虫害防治的生物农药筛选及应用[D]. 石河子：石河子大学，2014.

[2] SUN Liang，JIANG Juan. Effect of jujube extract on oxidative injury in heart muscles of exhausted training rats [J]. African Journal of Microbiology Research，2011，5(14)：1896 - 1899.

[3] 国家统计局. 红枣产量分省年度数据[DB/OL]. 2016. http：//data. stats. gov. cn/easyquery. htm? cn-E0103.

[4] 王兰，冯宏祖，支金虎，等. 32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂对枣黑斑病的室内毒力测定与田间防效试验[J]. 江苏农业科学，2013，41(1)：134 - 135.

[5] 符泽. 新疆阿拉尔垦区矮化密植枣园红枣黑斑病发病规律的初步研究[D]. 石河子：石河子大学，2015.

[6] 李夏鸣，郭黄萍，胡增丽. 枣黑斑病研究[J]. 山西农业科学，2009(11)：37 - 40.

[7] 董宁. 枣黑斑病症状表现、病菌分析及室内药剂筛选[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2015.

[8] RAJA P，REDDY A V R，ALLAM U S. First report of *Alternaria tenuissima* causing leaf spot and fruit rot on eggplant (*Solanum melongena*) in India[J]. Plant Pathology，2006，55(4)：579.

[9] BAGHERABADI S，ZAFARI D，SOLEIMANI M J. First Report of leaf spot of strawberry caused by *Alternaria tenuissima* in Iran [J]. Journal of Plant Pathology & Microbiology，2015，6(3)：258.

[10] 许伟民，谢昀烨，王春伟，等. 北五味子黑斑病的药剂防治[J]. 吉林农业大学学报，2013(5)：520 - 529.

[11] 郑晓莲，赵光耀，茆正川，等. 枣缩果病病原诊断初报[J]. 植物保护，1995，32(2)：19 - 21.

[12] 郑晓莲，齐秋锁，赵光耀，等. 枣缩果病初侵染来源的初步研究[J]. 河北农业大学学报，1995，18(4)：59 - 63.

[13] TANČINOVÁ D，MAŠKOVÁ Z，RYBÁRIK L，et al.，Colonization of grapes berries by *Alternaria* sp. and their ability to produce mycotoxins [J]. Potravinarstvo，2016，10(1)：7 - 13.

[14] 蔡龙. 红枣黑斑病发病研究及药剂防治试验[J]. 山西果树，2013(3)：3 - 5.

[15] Fungicide Resistance Action Committee. Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering)[J/OL]. [2018 - 2]. http：//www. frac. info/publications/downloads.

[16] 农业部农药检定所. NY/T1156. 2 - 2006，抑制病原真菌菌丝生长试验平皿法[S]. 北京：中国农业出版社，2006：1 - 2.

[17] 陈凤平，韩平，张真真，等. 啶菌噁唑对番茄灰霉病菌的抑菌作用研究[J]. 农药学学报，2010(1)：42 - 48.

[18] 古丽皮艳，韩青梅，王兰. 不同杀菌剂对玉米弯孢叶斑菌的毒力测定[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2005，33(S1)：49 - 52.

[19] 耿忠义，赵京岚，孙国波，等. 腈菌唑与甲基硫菌灵对苹果轮纹病等 3 种病菌混配增效作用研究[J]. 中国农学通报，2010(18)：297 - 300.

[20] SIEGEL M R. Sterol-inhibiting fungicides：effects on sterol biosynthesis and sites of action [J]. Plant Disease，1981，65(12)：986 - 989.

[21] BAYLIS A. Agrochemicals coming off-patent 2012 - 2016 [R]. London：Informa UK Ltd，2011：68 - 70.

[22] 杨丽娟，柏亚罗. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂—吡唑醚菌酯[J]. 现代农药，2012(4)：46 - 50.

[23] 陈雨，张爱芳，夏本勇，等. 吡唑醚菌酯对大豆炭疽病防效及保健增产作用[J]. 农药，2011(9)：697 - 699.

[24] 于晓丽，王培松，巴信斌，等. 17.2%吡唑醚菌酯·氟环唑悬乳剂对玉米的防病保健作用[J]. 安徽农业科学，2015(25)：92 - 95.

[25] 陈雨，张爱芳，於春，等. 吡唑醚菌酯对棉花炭疽病的防效及保健增产作用[J]. 中国棉花，2011(6)：24 - 26.

[26] 华乃震. 杀菌剂戊唑醇的剂型与应用[J]. 农药，2013，52(11)：781 - 786.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 262 页)

[18] 何建群，陈贵荟，李靖军，等. 白粉病对亚麻原茎和种子产量、质量的影响[J]. 中国麻业科学，2006(6)：317 - 321.

[19] 刘淑霞，潘冬梅，魏国江，等. 黑龙江省亚麻白粉病发生特点及防治措施[J]. 黑龙江科学，2011，2(4)：53 - 54.

[20] 何建群，张金莲，张玲. 40%氟硅唑 EC 对亚麻白粉病的防治效果研究[J]. 中国麻业科学，2011，33(1)：8 - 10.

[21] 马海灵. 5 种药剂对胡麻白粉病的防效试验[J]. 甘肃农业科技，2014(1)：16 - 17.

[22] 国家胡麻产业技术体系. 中国现代农业产业可持续发展战略研究-胡麻分册[M]. 北京：中国农业出版社，2016：167 - 171.

[23] 牛俊义，谢亚萍. 胡麻生长发育与氮营养规律[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2017：1 - 188.

[24] ALY A A，MANSOUR M T M，MOHAMED H I，et al. Examination of correlations between several biochemical components and powdery mildew resistance of flax cultivars [J]. Plant Pathology Journal，2012，28(2)：149 - 155.

[25] YOU F M，JIA G，XIAO J，et al. Genetic variability of 27 traits in a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) [J]. Frontiers in Plant Science，2017(8)：1 - 12.

[26] RASHID K. Resistance in flax cultivars and genotypes to powdery mildew [EB/OL]. (2017 - 10 - 24)[2018 - 9 - 19]. https：//umanitoba. ca/faculties/afs/agronomists _ conf/media/Rashid _ MAC_PM_2017_Poster_Oct_24_2017_Portrait_LONG. pdf.

(责任编辑：杨明丽)