

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2013.00999

小麦-偃麦草杂种后代及小麦种质资源对纹枯病的抗性

李洪杰^{1,*} 王晓鸣¹ 陈怀谷² 李 伟² 刘东涛³ 张会云³

¹ 中国农业科学院作物科学研究所 / 农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081; ² 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏南京 210014; ³ 江苏省徐州市农业科学院, 江苏徐州 221121

摘 要: 为鉴定小麦-偃麦草杂种后代以及我国小麦品种和育种中间品系对纹枯病的抗性, 并且解析偃麦草染色体与纹枯病抗性的关系, 在徐州和南京两个试点, 采用田间病圃法对 321 份普通小麦品种或品系和 56 份小麦-偃麦草杂种后代材料进行了纹枯病抗性鉴定。在徐州试点没有发现高抗纹枯病的种质, 但是有 52 份材料表现中抗反应型, 包括 34 份普通小麦材料, 其中萧农 8506-1、小偃 81、冀植 4001、农大 195、徐州 8913 和京东 3066A-3 的相对抗病指数高于 0.7。在南京试点, 全部普通小麦材料都不抗纹枯病, 只有 5 份小麦-偃麦草种质表现中抗反应型。部分小麦-偃麦草种质的病情指数不但显著低于感病对照品种苏麦 3 号和扬麦 158, 而且还低于抗病对照品种安农 8455 和宁麦 9 号, 如小麦-中间偃麦草 4Ai#2 或 4Ai#2S 附加系、代换系和易位系材料 TA3513、TA3516、TA3517 和 TA3519 及小麦-长穗偃麦草第 4 部分同源群染色体代换系 SS767, 说明中间偃麦草 4Ai#2 染色体和长穗偃麦草 4J 染色体可能与纹枯病病情指数降低有关。基因组原位杂交分析结果表明, 4Ai#2 染色体属中间偃麦草的 J^s 基因组, 而长穗偃麦草与纹枯病抗性相关的第 4 部分同源群染色体属 J 基因组。虽然纹枯病与眼斑病的发病部位和症状非常相似, 但抗眼斑病基因 *Pch1* (Madsen) 和 *Pch2* (Cappelle-Desprez) 对纹枯病无效。

关键词: 小麦; 中间偃麦草; 长穗偃麦草; 纹枯病; 抗病性

Reaction of Wheat-*Thinopyrum* Progenies and Wheat Germplasm to Sharp Eyespot

LI Hong-Jie^{1,*}, WANG Xiao-Ming¹, CHEN Huai-Gu², LI Wei², LIU Dong-Tao³, and ZHANG Hui-Yun³

¹ Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences / National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081, China; ² Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; ³ Institute of Agricultural Sciences of Xuzhou, Xuzhou 221121, China

Abstract: The objectives of this study were to test the reactions of wheat-*Thinopyrum* derivatives, wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and breeding lines to sharp eyespot (caused by *Rhizoctonia cerealis* Van der Hoeven) and to understand the relationship between *Thinopyrum* chromosomes and sharp eyespot resistance. Using field nursery tests, 321 common wheat accessions and 56 wheat-*Thinopyrum* derivatives were tested in Xuzhou and Nanjing, Jiangsu Province, China. In Xuzhou, none of the accessions was highly resistant, while 52 accessions (including 34 common wheat accessions) were moderately resistant. Six common wheat cultivars, i.e., Xiaonong 8506-1, Xiaoyan 81, Jizhi 4001, Nongda 195, Xuzhou 8913, and Jingdong 3066A-3, had the relative resistance index greater than 0.7. In Nanjing, all the common wheat entries were moderately or highly susceptible. Only five accessions of wheat-*Thinopyrum* progenies showed moderately resistant reaction. The chromosome addition, substitution, and translocation lines TA3513, TA3516, TA351, and TA3519 involving chromosome 4Ai#2 or 4Ai#2S of *Th. intermedium* and the chromosome substitution line SS767 involving the homoeologous group 4 chromosome of *Th. ponticum* had the disease indexes smaller than the susceptible controls Sumai 3 and Yangmai 158, as well the moderately resistant controls Annong 8455 and Ningmai 9. This indicated that the homoeologous group 4 chromosomes from *Th. intermedium* and *Th. ponticum* were most likely associated with the reduction of disease indexes. Genomic *in situ* hybridization using St genomic DNA from *Pseudoroegneria strigos* as a probe demonstrated that chromosome 4Ai#2 belongs to J^s genome of *Th. intermedium* and the homoeologous group 4

本研究由国家自然科学基金项目(30971775), 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3-1)和农业部作物种质资源保护子项目(NB2010-2130135-25-14)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 李洪杰, E-mail: lihongjie@caas.cn

Received(收稿日期): 2012-12-04; Accepted(接受日期): 2013-03-11; Published online(网络出版日期): 2013-03-22.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20130322.1738.013.html>

chromosome of *Th. ponticum* belongs to J genome. Although sharp eyespot and eyespot develop similar shapes of symptoms on the basal stems of wheat, the eyespot resistance genes *Pch1* and *Pch2* carried by the wheat cultivars Madsen and Cappelle-Desprez, respectively, were not effective against sharp eyespot.

Keywords: *Triticum aestivum*; *Thinopyrum intermedium*; *Thinopyrum ponticum*; Sharp eyespot; Disease resistance

小麦纹枯病是由禾谷丝核菌(*Rhizoctonia cerealis* van der Hoeven; 有性态 *Ceratobasidium cereale* D. Murray & L. L. Burpee)引起的一种土传真菌病害。过去纹枯病在世界各地鲜有发生,近30年来,由于全球气候变化、小麦品种的抗性普遍较差,以及这种病原菌的寄主范围很广,纹枯病已经在世界上温带地区小麦生产区大面积发生并造成严重经济损失^[1]。根据全国农业技术推广服务中心的数据,在过去10年间,每年全国小麦纹枯病发生面积高达600~870万公顷。纹枯病可使小麦减产5%~26%^[2-5],减产的主要原因是降低穗粒重、穗粒数、千粒重、植株和穗干重^[4,6]。

小麦纹枯病的控制主要依赖喷施井冈霉素、三唑类、异菌脲等杀菌剂^[7-9],但在我国已经发现抗井冈霉素和异菌脲的菌株^[10-11]。过度使用井冈霉素已经使其对纹枯病的防治效果下降^[12]。栽培措施对降低纹枯病的发生虽有一定效果,但有时对控制这种土传病原菌的作用并不大^[13-14]。提高品种的抗性是控制纹枯病危害的关键措施。

自从20世纪90年代以来,虽然鉴定了大量的种质资源,但是很少发现高抗纹枯病的材料^[15-20]。我国主要推广品种对纹枯病的抗性也比较差^[18-22]。由于缺乏有效的抗源,抗纹枯病育种工作进展也不大,绝大多数近年来选育的品种和品系都表现感病^[15,23-24]。

研究表明,某些小麦的野生近缘种对纹枯病表现良好的抗性^[16,25]。长穗偃麦草[*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & D. R. Dewey, JJJ^SJ^S基因组, $2n=10x=70$]和中间偃麦草[*Th. intermedium* (Host) Barkworth & D. R. Dewey, StJJ^S基因组, $2n=6x=42$]能够抗多种小麦的真菌和病毒病害,特别是对一些土传病害具有很好的抗性^[26-27]。本研究的目的是鉴定小麦-偃麦草杂种后代以及我国小麦品种和育种中间品系对纹枯病的抗性,并且解析偃麦草染色体与纹枯病抗性的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

共检测321份国内选育的小麦品种或品系和56

份来自美国和加拿大的小麦-偃麦草杂种后代(见附表1和附表2)。苏麦3号和扬麦158作为感病对照品种,安农8455和宁麦9号作为中抗对照品种。

1.2 纹枯病抗性鉴定

江苏省是我国纹枯病发病比较严重的地区^[28-30],本研究采用田间病圃法鉴定不同材料对纹枯病的抗性,试验地块是多年一直作为小麦纹枯病抗性鉴定的病圃。2008—2009和2011—2012年生长季在江苏省徐州市农业科学院田间病圃(徐州市东贺村, 34.28°N, 117.29°E)种植,2009—2010年生长季在江苏省农业科学院试验地(南京市, 32.04°N, 118.87°E)种植。田间采用顺序排列,3次重复,每个材料播种1行,行长2m,播种100粒。

从各试验点田间病圃中分离菌种,采用麦粒接菌法接种^[31]。麦粒培养基经高温消毒用于繁殖菌种。小麦返青时,将带菌麦粒均匀撒在试验区,喷水保湿。小麦乳熟期每行考察50个茎,按照5级标准划分,分别是无病(0级)、叶鞘变褐且病斑不侵入茎秆(1级)、侵入茎秆的病斑小于茎周的1/2(2级)、侵入茎秆的病斑环茎1/2~3/4(3级)、茎秆上病斑环茎大于3/4或茎秆软腐(4级)及枯孕穗或枯白穗(5级)。病情指数 = $[\Sigma(\text{各级病茎数} \times \text{相应病级}) / (\text{总茎数} \times \text{最高病级})] \times 100$; 相对病情指数(RRI) = $1 - \text{鉴定品种平均病情指数} / \text{发病最严重品种的平均病情指数}$ ^[21,23]。根据相对抗病指数将待鉴定品种分为免疫(RRI=1.00)、高抗($0.80 \leq \text{RRI} < 1.00$)、中抗($0.60 \leq \text{RRI} < 0.80$)、中感($0.40 \leq \text{RRI} < 0.60$)和高感(RRI<0.40)5个类别。

采用SAS version 8.0统计软件(SAS Institute, Cary, NC, USA)统计分析数据,计算每个材料病情指数和相对抗病指数的平均值,进行方差分析,采用Fisher's protected LSD法比较不同材料之间的差异显著性,采用t-测验比较不同类型材料之间平均病情指数和相对抗病指数的差异显著性。

1.3 偃麦草染色体(质)的GISH和PCR检测

基因组原位杂交(GISH)的探针为生物素-14-dATP标记的 *Pseudoroegneria strigosa* (M. Bieb) Á. Löve (J^S基因组, $2n=14$)基因组DNA,封阻DNA为普通小麦中国春(ABD基因组, $2n=42$)基因组DNA。采

用 FITC-avidin DN 和生物素酰化羊抗-avidin D (Vector Lororatories, Inc., Burlingame, CA, USA)使外缘染色体呈现黄绿色杂交信号,利用碘化丙啶将小麦染色体复染成红色。根据杂交信号在染色体上的分布,区别不同基因组的偃麦草染色体。St 基因组整条染色体上都分布有强烈的杂交信号,J 和 E 基因组整条染色体上都分布着较弱的杂交信号,J^s 基因组染色体上的杂交信号分布于着丝粒区域和端部区域,其他区域上的杂交信号较弱或无信号。利用 PCR 分析检测小麦—偃麦草杂种后代中的外缘染色体。引物为从长穗偃麦草(*Th. elongatum*)上分离的 DNA 重复序列 pLeUCD2 (2P1: 5'-ACAATCTGAA AATCTGGACA-3'和 2P2: 5'-TCATATTGAGACTC

CTATAA-3')^[32]。GISH 探针的标记、信号检测和观察以及 PCR 反应参照以前报道的方法^[33-34]。

2 结果与分析

2.1 不同试验地点的抗性鉴定比较

在徐州点鉴定的品种平均病情指数高于南京点材料的病情指数,相反,徐州点材料的平均相对抗病指数高于南京点材料的相对抗病指数,*t*-测验表明两点之间在这 2 个指标上差异显著($P<0.0001$) (表 1)。从这些结果可以看出,徐州点的病害发生程度较南京点轻。另外,徐州点 2 个指标的变异范围比南京点稍大。两试点病情指数和相对抗病指数的分布也表现相同的趋势(图 1)。

表 1 小麦种质在徐州试点与南京试点平均病情指数和相对抗病指数的比较

地点 Location	鉴定材料数 No. of entries tested	病情指数 Disease index		相对抗病指数 Relative resistance index	
		平均值 Mean ± SD	变异幅度 Range of variation	平均值 Mean±SD	变异幅度 Range of variation
徐州 Xuzhou	231	40.50±11.12	20.00–80.00	0.49±0.14	0–0.75
南京 Nanjing	203	47.01±10.22	26.00–75.00	0.37±0.14	0–0.65
<i>t</i> 值 <i>t</i> -value		6.68		–9.46	
<i>P</i>		<0.0001		<0.0001	

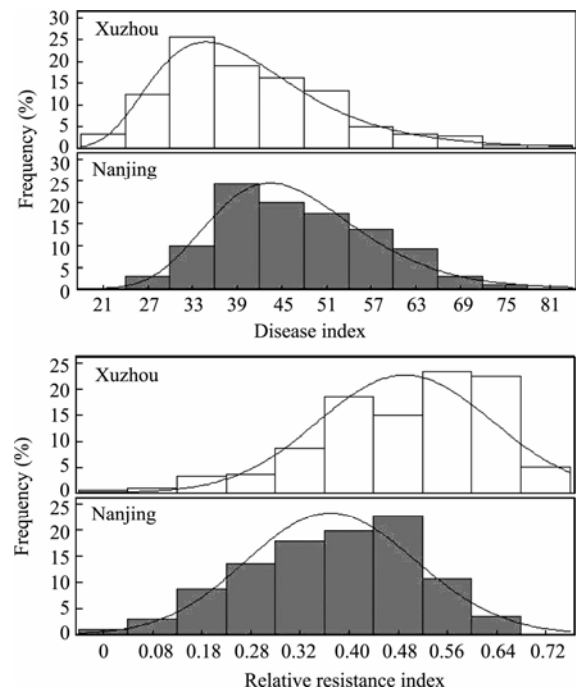


图 1 小麦种质在徐州试点与南京试点病情指数和相对抗病指数的频率分布

Fig. 1 Frequency distributions of disease index and relative resistance index for the wheat entries tested in Xuzhou and Nanjing

2.2 不同类型品种对纹枯病的抗性反应

在徐州点,小麦-偃麦草杂种材料的平均病情指数(35.46±6.47)显著小于普通小麦材料(42.16±11.82),而前者的相对抗病指数(0.56±0.08)则显著大于后者(0.47±0.15) ($P<0.001$)。从两种指标的分布来看,小麦-偃麦草杂种材料比普通小麦材料更偏向具抗性(图 2)。在南京点,小麦-偃麦草杂种材料和普通小麦品种平均病情指数分别为 47.16±10.32 和 46.95±10.21,相对抗病指数分别为 0.36±0.14 和 0.37±0.14,两类材料的差异均不显著($P=0.3194$)。两类材料的病情指数和相对抗病植株的分布比较接近(图 2)。

在两试点都没有发现高抗纹枯病的材料(图 3)。在徐州试点表现中抗的材料有 52 份,占全部鉴定材料的 22.4%,包括 34 份(14.7%)普通小麦材料和 18 份(7.8%)小麦-偃麦草杂种材料,相对抗病指数超过 0.70 的普通小麦材料包括萧农 8506-1 (0.75)、小偃 81 (0.72)、冀植 4001 (0.71)、农大 195 (0.71)、徐州 8913 (0.71)和京东 3066A-3 (0.71)。在南京试点,表现中抗反应型的只有 5 份材料,占鉴定材料总数的 2.5%,均为小麦-偃麦草杂种材料,鉴定的普通小麦材料对纹枯病都表现中感或高感反应型。

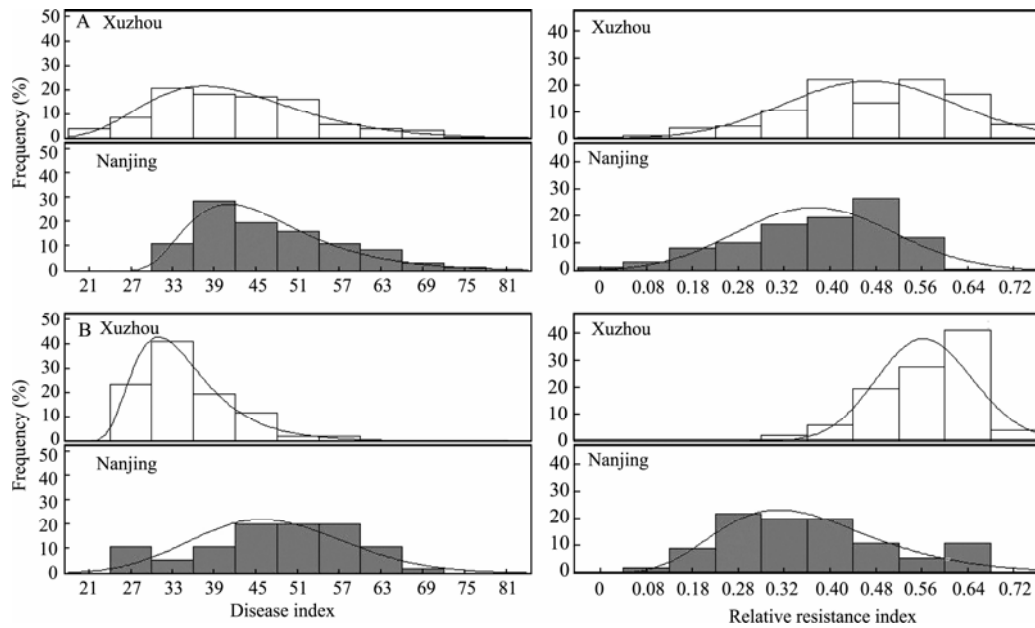


图 2 普通小麦(A)和小麦-偃麦草杂种材料(B)在徐州试点与南京试点病情指数和相对抗病指数的比较
Fig. 2 Comparison of disease index and relative resistance index for common wheat entries (A) and wheat-*Thinopyrum* lines (B) tested in Xuzhou and Nanjing

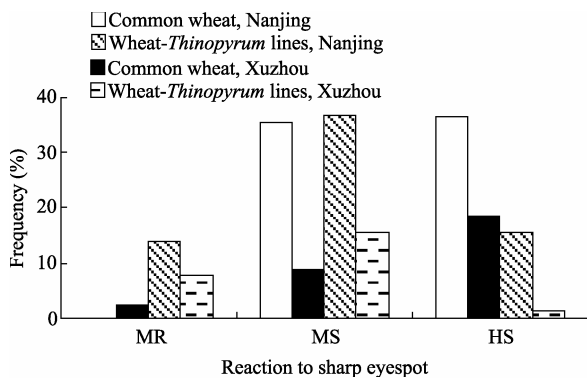


图 3 不同类型的小麦种质对纹枯病反应
Fig. 3 Reactions of different classes of wheat germplasm to sharp eyespot
MR: 中抗; MS: 中感; HS: 高感。
MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible;
HS: highly susceptible.

2.3 不同类型小麦-偃麦草杂种材料对纹枯病的反应

在两试点, 含小麦-中间偃麦草第 4 部分同源群染色体的材料抗性优于普通小麦材料和其他类别的材料, 其病情指数较低, 而相对抗病指数较高 ($P < 0.05$)。在徐州点, 小麦-中间偃麦草部分双二倍体绿中₁、中₁、中₂、中₃、中₄和中₅也表现较好的抗性, 但这些材料在南京试点表现感病(图 4)。其他类型的小麦-偃麦草杂种材料(包括小麦-偃麦草其他染色体的附加系和代换系、小麦-长穗偃麦草部分双二倍体等)在徐州试点也表现较好的抗性, 但是这些

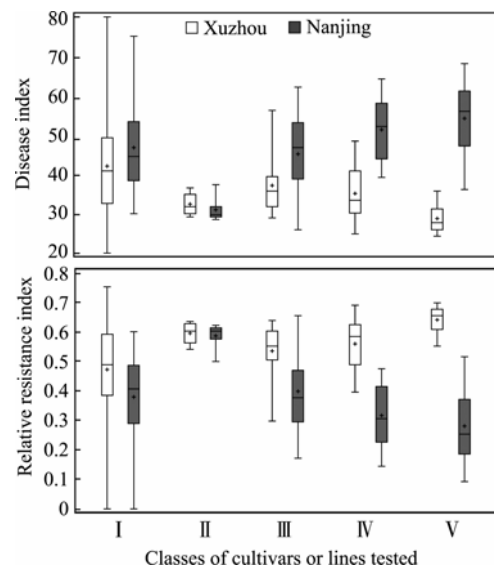


图 4 不同类型的小麦种质在徐州和南京试点病情指数和相对抗病指数

Fig. 4 Disease index and relative resistance index in different classes of wheat germplasm in Xuzhou and Nanjing

I: 普通小麦材料; II: 含中间偃麦草 4Ai#2 染色体材料;
III: 含其他偃麦草染色体材料; IV: 小麦-长穗偃麦草杂种部分双二倍体; V: 小麦-中间偃麦草部分双二倍体。

I: common wheat entries; II: wheat lines containing chromosome 4Ai#2 from *Th. intermedium*;

III: wheat lines containing other *Thinopyrum* chromosomes;

IV: wheat-*Th. ponticum* partial amphiploids;

V: wheat-*Th. intermedium* partial amphiploids.

材料在南京试点的病情指数和相对抗病指数表现不及在徐州试点(图 4)。

2.4 偃麦草染色体与纹枯病抗性的关系

两试点的抗性鉴定结果表明, 小麦-中间偃麦草第 4 部分同源群染色体 4Ai#2 附加系(TA3513)、代换系 DS4Ai#2(4A)(TA3519)和 DS4Ai#2(4D) (TA3517) 的抗性表现较好, 这些材料的病情指数不但显著低于感病对照品种苏麦 3 号和扬麦 158, 而且还低于抗病对照品种安农 8455 和宁麦 9 号($P<0.05$)。小麦-中间偃麦草易位系 T4DL·4Ai#2S (TA3516)表现相似的结果(图 5)。小麦-中间偃麦草第 4 部分同源群染色体的附加系 DA 4Ai#1 (TA3560)在徐州的 2 年鉴定中, 病情指数与含 4Ai#2 染色体的材料相似, 但在南京试点其病情指数稍高。小麦-中间偃麦草第 4 部分同源群染色体 4Ai#3 长臂附加系 DA 4Ai#3L (TA7700)的病情指数在两试点都显著高于含 4Ai#2 染色体的材料($P<0.05$)。小麦-长穗偃麦草第 4 部分同源群染色体代换系 DS 4J(4D) (SS767)的病情指数也显著低于其他抗病和感病对照($P<0.05$)。小麦品种 Madsen 和 Cappelle-Desprez 的病情指数高于抗病和感病对照。

2.5 偃麦草染色体的 GISH 和 PCR 分析

利用 St 基因组探针进行 GISH 分析, 在含 4Ai#2 染色体的材料 TA3519、TA3517 和 TA3513 中检测到的 2 个外缘染色体, 以及 T4DL·4Ai#2S 易位系 TA3516 中的外缘染色体臂都表现 J^S 基因组染色体的带型特征, 4Ai#1 附加系 TA3650 中的外缘染色体为 St 基因组染色体, 4Ai#3L 附加系 TA7700 中的外缘染色体表现 J 基因组染色体的带型。小麦-长穗偃麦草代换系 SS767 中的外缘染色体也呈 J 基因组染色体的带型。小麦品种 Madsen 和 Cappelle-Desprez 中没有检测到偃麦草染色体(表 2 和图 6)。

采用 E 基因组特异的 DNA 重复序列 pLeUCD2 的引物, 在上述小麦-中间偃麦草和小麦-长穗偃麦

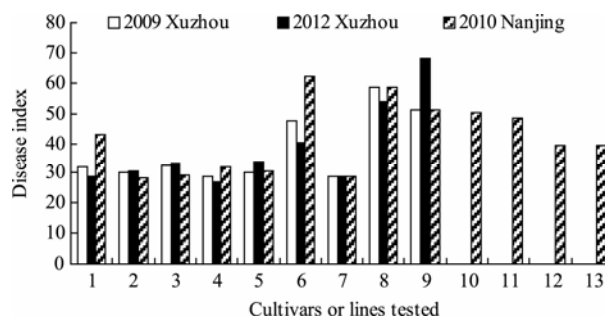


图 5 小麦-偃麦草第 4 部分同源群染色体材料的病情指数
Fig. 5 Disease index of wheat lines containing *Thinopyrum* homoeologous group 4 chromosomes

1: TA3650 (DA 4Ai#1); 2: TA3519 [DS 4Ai#2(4A)]; 3: TA3517 [DS 4Ai#2(4D), DS 7S(7A)]; 4: TA3513 (DA 4Ai#2); 5: TA3516 [T4DL·4Ai#2S, DS 7S(7A)]; 6: TA7700 (DA 4Ai#3L); 7: SS767 [DS 4J(4D)]; 8: Madsen; 9: Cappelle-Desprez; 10: 苏麦 3 号; 11: 扬麦 158; 12: 安农 8455; 13: 宁麦 9 号。

1: TA3650 (DA 4Ai#1); 2: TA3519 [DS 4Ai#2(4A)]; 3: TA3517 [DS 4Ai#2(4D), DS 7S(7A)]; 4: TA3513 (DA 4Ai#2); 5: TA3516 [T4DL·4Ai#2S, DS 7S(7A)]; 6: TA7700 (DA 4Ai#3L); 7: SS767 [DS 4J(4D)]; 8: Madsen; 9: Cappelle-Desprez; 10: Sumai 3; 11: Yangmai 158; 12: Annong 8455; 13: Ningmai 9.

草杂种材料都扩增出特异的 277 bp 片段(图 7), 表明这些材料中含有偃麦草染色质。Madsen 和 Cappelle-Desprez 中没有检测出特异的扩增片段, 表明其不含偃麦草染色质。PCR 分析的结果与 GISH 分析的结果相吻合。

3 讨论

大量研究结果表明, 小麦品种和种质资源对纹枯病的抗性表现很大的差异, 但大多数鉴定的材料表现感病^[15-22]。本研究观察到中间偃麦草第 4 部分同源群染色体 4Ai#2 (TA3513、TA3516、TA3517 和 TA3519)和长穗偃麦草第 4 部分同源群染色体 4J (SS767)能够降低小麦纹枯病的病情指数, 在 2 个试点抗性表现优于多数参试的普通小麦材料, 这些材料可以作为改良小麦纹枯病抗性的种质资源加以利用。

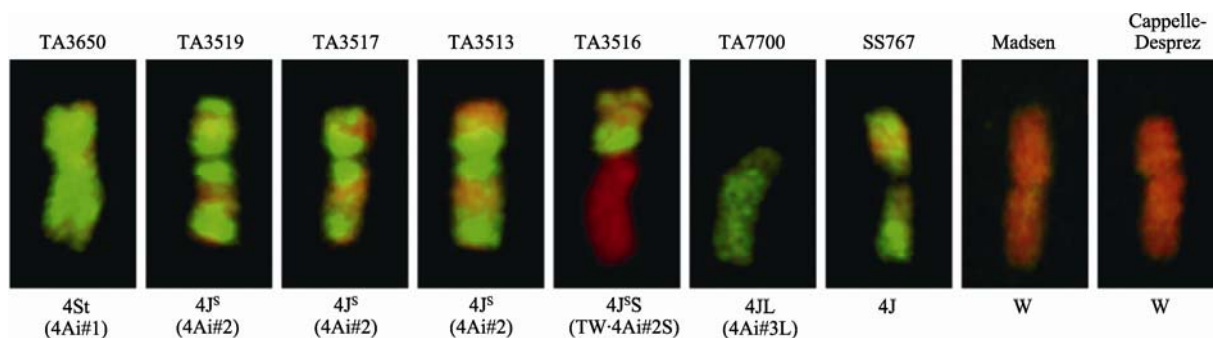


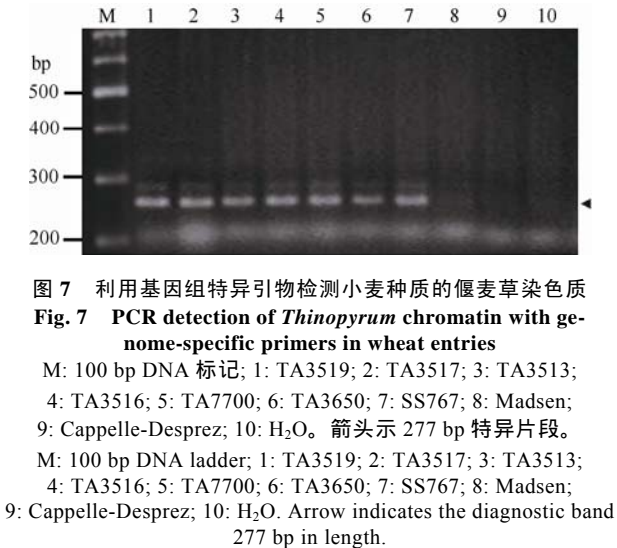
图 6 小麦-偃麦草种质的基因组原位杂交带型

Fig. 6 Genomic *in situ* hybridization banding patterns of wheat-*Thinopyrum* lines

表 2 小麦-偃麦草第 4 部分同源染色体品系的 GISH 和 PCR 分析构成
Table 2 Chromosomal compositions of the wheat-*Thinopyrum* homoeologous group 4 chromosome lines

品系 Line	系谱 Pedigree	染色体构成 Chromosome composition	2n	GISH ^a	PCR
TA3650	Vilmorin/ <i>Th. intermedium</i>	DA 4Ai#1	44	2 St + 42 W	+
TA3519 (CI 15092)	Carstens V/ <i>Th. intermedium</i> //3* Lathrop	DS 4Ai#2(4A)	42	2 J ^s + 40 W	+
TA3517 (CI 17885)	CI15092/ <i>Ae. speltoides</i> /Fletcher//Centurk	DS4 Ai#2(4D), DS 7S(7A) ^b	42	2 J ^s + 40 W	+
TA3513 (CI 17881)	CI15092/ <i>Ae. speltoides</i> /Fletcher//Centurk	DA 4Ai#2	44	2 J ^s + 40 W	+
TA3516 (CI 17884)	CI15092/ <i>Ae. speltoides</i> /Fletcher//Centurk	T4DL·4Ai#2S, DS 7S(7A) ^b	42	2 WL-J ^s S + 40 W	+
TA7700	Chinese Spring/ <i>Th. intermedium</i>	DA 4Ai#3L	42+1t or 2t	1 or 2 JL + 42 W	+
SS767	<i>Triticum vulgare</i> Sac75//Sol/ <i>Th. ponticum</i> // Leapland/Meister amphiploids wheat/rye Br215	DS 4J(4D)	42	2 J + 40 W	+
Madsen ^c	VPM1/Moisson 951//Hill 81	Wheat	42	42 W	-
Cappelle-Desprez ^d	Vilmorin 27/Hybride du Joncquois	Wheat	42	42 W	-

^a J、J^s和 St: 偃麦草的 J、J^s和 St 基因组染色体; W: 小麦染色体; L 和 S: 染色体长臂和短臂; t: 端体染色体。 ^b DS 7S(7A): 拟斯卑尔脱山羊草 7S 染色体替换了小麦 7A 染色体; ^c Madsen: 携带抗眼斑病基因 *Pch1*。 ^d Cappelle-Desprez: 携带抗眼斑病基因 *Pch2*。
^a J, J^s, and St: J-, J^s-, and St-genome chromosomes of *Thinopyrum*, respectively; W: wheat chromosomes; L and S: the long arm or the short arm of a chromosome; t: telocentric chromosome. ^b DS 7S(7A): the chromosome 7A from common wheat is replaced by chromosome 7S from *Aegilops speltoides* Tauschi.; ^c Madsen: carrying *Pch1* for resistance to eyespot. ^d Cappelle-Desprez: carrying *Pch2* for resistance to eyespot.



小麦的野生近缘种常常表现对多种病害的抗性。中间偃麦草和长穗偃麦草就具有对眼斑病、根腐病、Cephalosporium 条纹病、小麦孢囊线虫病等土传病害,以及白粉病、锈病、小麦条纹花叶病(WSMV)、黄矮病(BYDV)等地上部真菌和病毒性病害的抗性,通过远缘杂交和染色体工程技术可以把这些抗性转移到普通小麦中^[26-27,33-38]。经过数十年的研究,国内外已经培育出大量的小麦-偃麦草杂种后代。对这些种质资源的鉴定,还可能发现更多的抗性种质。

小麦眼斑病的发病部位和症状与纹枯病非常相

似,都发生在茎基部节间,只是在病斑的边缘上有所差异,眼斑病的病斑边缘模糊,而纹枯病的病斑边缘清晰。中间偃麦草和长穗偃麦草第 4 部分同源群染色体 4Ai#2 和 4J 都具有对眼斑病的抗性^[33-34]。4Ai#2 染色体上还带有抗 WSMV 基因 *Wms1*,可抗不同来源的病毒^[38]。在本研究中含这 2 个染色体的小麦种质对纹枯病也具有抗性。目前还不清楚 4Ai#2 和 4J 染色体对纹枯病和眼斑病的抗性是否由相同的基因控制,但含抗眼斑病基因 *Pch1* 和 *Pch2* 的小麦品种 Madsen 和 Cappelle-Desprez 却不抗纹枯病,说明小麦对眼斑病和纹枯病的抗性可能由不同的遗传机制所控制。眼斑病由 *Oculimacula* spp.引起,而纹枯病由 *Rhizoctonia* spp.引起,病原菌的不同可能造成寄主抗性的遗传控制机制不同。

根据系谱关系,含 4Ai#2 或 4Ai#2S 染色体的小麦-中间偃麦草姊妹系 TA3513、TA3517 和 TA3516 包括了拟斯卑尔脱山羊草(表 2)。其中 T4DL·4Ai#2S 易位系 TA3516 和 DS 4Ai#2(4)代换系 TA3517 除了含有中间偃麦草染色体 4Ai#2 或 4Ai#2S 之外,拟斯卑尔脱山羊草的 7S 染色体还替代了小麦 7A 染色体。7S 染色体上携带 *Gb5* 基因,因而 TA3516 和 TA3517 还具有麦二叉蚜(*Schizaphis graminum* Rond.)的抗性。但是,另一个姊妹系 TA3513 不含 7S 染色体,因而也不具备麦二叉蚜的抗性^[39-40]。在本研究中,这 3 个姊妹系对纹枯病的病情指数与其亲本

TA3519相似, 都显著低于感病对照品种(图5)。因此, TA3513、TA3517和TA3516对纹枯病的抗性与来自TA3519的中间偃麦草4Ai#2染色体有关, 而与拟斯卑尔脱山羊草的7S染色体无关。

在本研究中, 南京试点鉴定材料的平均病情指数要高于徐州试点鉴定的材料。小麦-中间偃麦草部分双二倍体中₁至中₅在徐州试点的病情指数要远低于在南京试点的病情指数。江苏省是我国纹枯病发生和危害比较严重的地区。虽然引起江苏省小麦纹枯病的病原菌主要是第一融合群(CAG1)的 *R. cerealis*, 但是不同地区的菌株致病力可能不同, 南京的菌株致病力就高于徐州的菌株^[29]。不同试点和年份之间在环境条件上的差异, 以及病圃土壤中固有的病原菌群体可能对材料的表现产生影响。据报道, 2010年夏、秋江苏省持续高温、多雨的气候因素是当年该省水稻纹枯病重发的一个重要因素^[41]。水稻纹枯病的病原菌为 *R. solani*, 与小麦纹枯病的病原菌 *R. cerealis* 为同属但不同种的真菌, 二者亲缘关系比较近。由于地理位置不同, 徐州市和南京市两地之间气候条件存在一定的差异, 这种差异也可能对小麦纹枯病的发生造成影响。因此, 对于像纹枯病这样的土传病害, 采用多年、多点、多重复抗性鉴定, 并结合温室接种鉴定, 才能保证鉴定结果的准确性。

4 结论

在徐州和南京两试点对小麦-偃麦草杂种材料和普通小麦品种和种质的抗性鉴定中, 没有发现高抗纹枯病的材料。小麦-偃麦草杂种材料的平均病情指数低于普通小麦。含中间偃麦草4Ai#2(=4J^s)染色体(TA3513、TA3516、TA3517和TA3519)和长穗偃麦草4J染色体(SS767)的小麦-偃麦草种质在2个地点都表现较好的抗性。抗眼斑病基因 *Pch1* 和 *Pch2* 无助于纹枯病的抗性。

References

- [1] Hamada M S, Yin Y N, Chen H G, Ma Z H. The escalating threat of *Rhizoctonia cerealis*, the causal agent of sharp eyespot in wheat. *Pest Manag Sci*, 2011, 67: 1411–1419
- [2] Pitt D. Studies on sharp eyespot disease of cereals: effects of the disease on the wheat host and the incidence of disease in the field. *Ann Appl Biol*, 1966, 58: 299–308
- [3] Richardson M J, Whittle A M, Jacks M. Yield loss relationships in cereals. *Plant Pathol*, 1976, 25: 21–30
- [4] Clarkson J D S, Cook R J. Effect of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield loss in winter wheat. *Plant Pathol*, 1983, 32: 421–428
- [5] Crome M G, Butler R C, Boddington H J, Moorhead A R. Effects of sharp eyespot on yield of wheat (*Triticum aestivum*) in New Zealand. *New Zealand J Crop Hort Sci*, 2002, 30: 9–17
- [6] Lemańczyk G, Kwaśna H. Effect of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield and grain quality of winter wheat. *Eur J Plant Pathol*, 2012, 135: 187–200
- [7] Davies W P, Price K R. Sensitivity of sharp eyespot of wheat and *Rhizoctonia cerealis* to fungicides. *Ann Appl Biol*, 1983, 102: 54–55
- [8] Matthews A B, Gold K, Davies W P. Response of true eyespot and sharp eyespot of wheat to fungicides. *Ann Appl Biol*, 1985, 106: 76–77
- [9] Chen H G, Gao Q G, Xiong G L, Li W, Zhang A X, Yu H S, Wang J S. Composition of wheat rhizosphere antagonistic bacteria and wheat sharp eyespot as affected by rice straw mulching. *Pedosphere*, 2010, 20: 505–514
- [10] Jiang L-L(姜莉莉), Qiao K(乔康). Research status of wheat sharp eyespot resistance to fungicides. *Agrochem Res Appl* (农药研究与应用), 2010, 14(3): 11–14 (in Chinese with English abstract)
- [11] Hamada M S, Yin Y N, Ma Z H. Sensitivity to iprodione, difenoconazole and fludioxonil of *Rhizoctonia cerealis* isolates collected from wheat in China. *Crop Prot*, 2011, 30: 1028–1033
- [12] Xia X-M(夏晓明), Wang K-Y(王开运), Wang H-X(王怀训), Liu Y-H(刘英华), Hu Y(胡燕), Fan K(范昆). Studies on resistance risk forecast to validamycin against *Rhizoctonia cerealis*. *Chin J Pestic Sci* (农药学报), 2006, 8(2): 115–120 (in Chinese with English abstract)
- [13] Guo C-Q(郭春强), Liao P-A(廖平安), Ge C-B(葛昌斌), He D-X(贺德先), Zang H-Z(臧贺藏), Guo S-J(郭松景), Huang Q-M(黄全民), Chen Q(陈琦). Effects of main agronomic measures on reducing disease index of sharp eyespot in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2008, 28(3): 537–540 (in Chinese with English abstract)
- [14] Matusinsky P, Mikolasova R, Klem K, Spitzer T, Urban T. The role of organic vs. conventional farming practice, soil management and preceding crop on the incidence of stem-base pathogens on wheat. *J Plant Dis Prot*, 2008, 115: 17–22
- [15] Wan Y-X(万映秀), Wang W-X(王文相), Zhang P-Z(张平治), Cao W-X(曹文昕), Zhao L(赵莉). Identification techniques and screening of sharp eyespot resistance of wheat. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2009, 25(7): 223–226 (in Chinese with English abstract)
- [16] Li S-S(李斯深), Wang H-G(王洪刚), Liu A-X(刘爱新), Li X-B(李宪彬), Li A-F(李安飞), Liu S-B(刘树兵). Identification and genetic analysis of resistance to sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) in winter wheat germplasm. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报), 2001, 21(5): 1004–1008 (in Chinese with English abstract)
- [17] Yang L-J(杨立军), Yang X-J(杨小军), Yu D-Z(喻大昭), Wang S-N(王绍南). Resistance evaluation of wheat cultivars (lines) to *Rhizoctonia cerealis* van der Hoeven and screening of its resis-

- tance resources. *Plant Prot* (植物保护), 2001, 27(2): 4–7 (in Chinese with English abstract)
- [18] Yan W(颜伟), Wu J-Z(吴纪中), Cai S-B(蔡士宾). Identification and innovation of resistance to sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) in wheat germplasm. *Fujian Sci Technol Rice Wheat* (福建稻麦科技), 2004, 22(3): 12–16 (In Chinese with English abstract)
- [19] Xing X-P(邢小萍), Yuan H-X(袁虹霞), Sun B-J(孙炳剑), Li H-L(李洪连). The resistant dynamic of wheat cultivars (lines) to wheat sharp eyespot. *Henan Agric Sci* (河南农业科学), 2008, (12): 85–88 (in Chinese with English abstract)
- [20] Shi J-R(史建荣), Wang Y-Z(王裕中), Chen H-G(陈怀谷), Shen S-W(沈素文). Screening techniques and evaluation of wheat resistance to sharp eyespot caused by *Rhizoctonia cerealis*. *Acta Phytopathologica Sin* (植物保护学报), 2000, 27(2): 107–112 (in Chinese with English abstract)
- [21] Li H-L(李洪连), Yuan H-X(袁虹霞), Diao X-G(刁晓葛), Li S-P(李锁平), Hu Y-X(胡玉欣), Wang S-Z(王守正). Evaluation on the resistance of major wheat varieties in Henan province to sharp eyespot. *Acta Agric Univ Henanensis* (河南农业大学学报), 1998, 32(2): 107–111 (in Chinese with English abstract)
- [22] Ren L-J(任丽娟), Chen P-D(陈佩度), Chen H-G(陈怀谷), Ma H-X(马鸿翔). Screening of resistance to sharp eyespot in wheat. *J Plant Genet Resour* (植物遗传资源学报), 2010, 11(1): 108–111 (in Chinese with English abstract)
- [23] Zhang H-Y(张会云), Feng G-H(冯国华), Liu D-T(刘东涛), Liu S-L(刘世来), Wang L-H(王来花), Wang J(王静), Wang X-J(王晓军), Chen R-Z(陈荣振). Identification and utilization of resistance to sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) in wheat germplasm resources. *Acta Agric Boreali-Occident Sin* (西北农业学报), 2009, 18(1): 213–216 (in Chinese with English abstract)
- [24] Leng S-F(冷苏凤), Zhang A-X(张爱香), Li W(李伟), Chen H-G(陈怀谷). Resistance of wheat cultivars to sharp eyespot in Jiangsu province. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业学报), 2010, 26(6): 1176–1180 (in Chinese with English abstract)
- [25] Yuan H-X(袁虹霞), Li H-L(李洪连), Wang S-Z(王守正), Li S-P(李锁平), Hu Y-X(胡玉欣). Identification of resistance to wheat sharp eyespot in wheat relatives. *Acta Agric Boreali-Sin* (华北农学报), 1998, 13(4): 26–29 (in Chinese with English abstract)
- [26] Li H J, Conner R L, Murray T D. Resistance to soil-borne diseases of wheat: contributions from the wheatgrasses *Thinopyrum intermedium* and *Th. ponticum*. *Can J Plant Sci*, 2008, 88: 195–205
- [27] Li H J, Wang X M. *Thinopyrum ponticum* and *Th. intermedium*: the promising source of resistance to fungal and viral diseases of wheat. *J Genet Genomics*, 2009, 36: 557–565
- [28] Wang Y-Z(王裕中), Wu Z-F(吴志凤), Shi J-R(史建荣), Chen H-G(陈怀谷). Study on occurrence of wheat sharp eyespot in Jiangsu and the factors influencing its development in fields. *Acta Phytophyl Sin* (植物保护学报), 1994, 21(2): 109–114 (in Chinese with English abstract)
- [29] Fang Z(方正), Chen H-G(陈怀谷), Chen H-D(陈厚德), Wang Y-Z(王裕中). The profile and virulence of wheat sharp eyespot pathogens in Jiangsu. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2006, 26(1): 117–120 (in Chinese with English abstract)
- [30] Chen Y(陈莹), Li W(李伟), Zhang X-X(张晓祥), Zhang B-Q(张伯桥), Yu H-S(于汉寿), Chen H-G(陈怀谷). Composition and virulence of pathogen of wheat sharp eyespot in north latitude 33° of China. *J Triticeae Crop* (麦类作物学报), 2009, 29(6): 1110–1114 (in Chinese with English abstract)
- [31] Yan W(颜伟), Wu J-Z(吴纪中), Cai S-B(蔡士宾), Zhang X-Y(张仙义), Wu X-Y(吴小有). Analysis of combining ability of resistance to sharp eyespot in wheat. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业科学), 2006, (6): 46–49 (in Chinese)
- [32] Wang R R C, Wei J Z. Variations of two repetitive DNA sequences in several Triticeae genomes revealed by polymerase chain reaction and sequencing. *Genome*, 1995, 38: 1221–1229
- [33] Li H J, Arterburn M, Jones S S, Murray T D. A new source of resistance to *Tapesia yellundae* associated with a homoeologous group 4 chromosome in *Thinopyrum ponticum*. *Phytopathology*, 2004, 94: 932–937
- [34] Li H J, Arterburn M, Jones S S, Murray T D. Resistance to eyespot of wheat, caused by *Tapesia yellundae*, derived from *Thinopyrum intermedium* homoeologous group 4 chromosome. *Theor Appl Genet*, 2005, 111: 932–940
- [35] Li H J, Cui L, Li H L, Wang X M, Murray T D, Conner R L, Wang L J, Gao X, Sun Y, Sun S C, Tang W H. Effective resources in wheat and wheat-*Thinopyrum* derivatives for resistance to *Heterodera filipjevi* in China. *Crop Sci*, 2012, 52: 1209–1217
- [36] Cox C M, Murray T D, Jones S S. Perennial wheat germplasm lines resistant to eyespot, *Cephalosporium* stripe, and wheat streak mosaic. *Plant Dis*, 2002, 86: 1043–1048
- [37] Li H J, Conner R L, Chen Q, Li H Y, Laroche A, Graf R J, Kuzyk A D. The transfer and characterization of resistance to common root rot from *Thinopyrum ponticum* to wheat. *Genome*, 2004, 47: 215–223
- [38] Baley G J, Talbert L E, Martin J M, Young M J, Habernicht D K, Kushnak G D, Berg J E, Lanning S P, Bruchner P L. Agronomic and end-use qualities of *Wheat streak mosaic* virus resistant spring wheat. *Crop Sci*, 2001, 41: 1779–1784
- [39] Tyler J M, Webster J A, Merkle O G. Designation of genes in wheat germplasm conferring greenbug resistance. *Crop Sci*, 1987, 27: 526–527
- [40] Friebe B, Mukai Y, Dhaliwal H S, Martin T J, Gill B S. Identification of alien chromatin specifying resistance to wheat streak mosaic and greenbug in wheat germ plasm by C-banding and *in situ* hybridization. *Theor Appl Genet*, 1991, 81: 381–389
- [41] Zhu F(朱凤), Yang R-M(杨荣明), Xu D-X(徐东祥), Tai D-L(邵德良). Reasons of heavy occurrence and control measures of rice sheath blight in Jiangsu Province in 2010. *China Plant Protect* (中国植保导刊), 2011, 31(9): 29–32 (in Chinese)

附表 1 普通小麦材料在徐州试点与南京试点的病情指数、相对抗病指数和反应型
Appendix 1 Disease indices, relative resistance indices, and phenotypes of common wheat entries in Xuzhou and Nanjing

小麦材料 Wheat entry	徐州试点 Xuzhou site			小麦材料 Wheat entry	南京试点 Nanjing site		
	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype		病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype
萧农 8506-1	20.00	0.75	MR	3265W3	30.00	0.60	MS
小偃 81	22.13	0.72	MR	初 94	30.50	0.59	MS
冀植 4001	23.06	0.71	MR	05-2001	31.00	0.59	MS
农大 195	23.08	0.71	MR	山农 334086	31.86	0.58	MS
徐州 8913	23.17	0.71	MR	山农 8081②	32.50	0.57	MS
京东 3066A-3	23.33	0.71	MR	山农 350318	32.84	0.56	MS
三月黄	23.87	0.70	MR	6-4467	33.47	0.55	MS
桥梁 BW35-1	24.76	0.69	MR	烟农 15	33.50	0.55	MS
大白麦	25.37	0.68	MR	WR9504-1	33.65	0.55	MS
石 81-5194	25.68	0.68	MR	N9820	33.67	0.55	MS
单 R7053	25.77	0.68	MR	02H441-4-5	34.80	0.54	MS
ZM014597	25.80	0.68	MR	山农 8081③	35.50	0.53	MS
皖鉴 7910	27.01	0.66	MR	3345E1	35.50	0.53	MS
皖麦 18	27.22	0.66	MR	6-4492	35.59	0.53	MS
蚂蚱麦	27.23	0.66	MR	品冬 34	35.78	0.52	MS
品冬 4617-5	27.35	0.66	MR	33-61-18-4	36.00	0.52	MS
京东 08343	27.46	0.66	MR	3265E3	36.00	0.52	MS
兴竹矮 1 号	27.50	0.66	MR	3263E3	36.00	0.52	MS
多抗 821	27.62	0.65	MR	初 87	36.06	0.52	MS
陕优 225	27.78	0.65	MR	4313-单-低-19	36.27	0.52	MS
冀辐 8504	28.57	0.64	MR	6-4486	36.73	0.51	MS
烟 C221	28.71	0.64	MR	83-5-1	37.00	0.51	MS
中作 50009	29.69	0.63	MR	05-2012	37.00	0.51	MS
西植 8661-1-1-3-3	30.00	0.63	MR	山农 030-1	37.02	0.51	MS
京双 8 号	30.00	0.63	MR	84-5-1	37.04	0.51	MS
红芒麦	30.25	0.62	MR	6-4480	37.07	0.51	MS
陕农 1 号	30.86	0.61	MR	33-67-1-3	37.50	0.50	MS
鲁农 85(4)009	31.06	0.61	MR	04 初 79	37.74	0.50	MS
中作 50036	31.11	0.61	MR	初 97	37.74	0.50	MS
湘 M 友	31.33	0.61	MR	WR9504-2	37.76	0.50	MS
品冬 904040	31.49	0.61	MR	冀 RS-5	38.00	0.49	MS
京东 50378	31.52	0.61	MR	02H17-1-18	38.00	0.49	MS
京东 3062A-4	31.58	0.61	MR	31-1-3-3-4	38.21	0.49	MS
陕 81296	31.67	0.60	MS	初 91	38.24	0.49	MS
内乡 5 号	31.67	0.60	MS	M852	38.50	0.49	MS
鲁麦 14	31.71	0.60	MS	33-61-18-1	38.50	0.49	MS
陕 8907-11-5	31.75	0.60	MS	山农 8081①	38.50	0.49	MS
福绵 2 号	31.90	0.60	MS	山农 0096	38.83	0.48	MS
豫麦 18	32.00	0.60	MS	冀 RD-4	39.15	0.48	MS
保 205	32.27	0.60	MS	02H360-1-3	39.22	0.48	MS
京东 3065A-4	32.31	0.60	MS	3262E1	39.22	0.48	MS
豫麦 2 号	32.50	0.59	MS	8N631-2	39.22	0.48	MS
京东 30234-30	32.63	0.59	MS	川间 595	39.50	0.47	MS
豫麦 18	32.68	0.59	MS	4313-2 单一系	39.50	0.47	MS
冀麦 19	32.69	0.59	MS	34-29-6-2	39.58	0.47	MS
丰产 3 号	32.69	0.59	MS	N9817	39.71	0.47	MS
桥梁 BW38-2	33.03	0.59	MS	山农 87074-551	39.81	0.47	MS
济南 13	33.06	0.59	MS	山农 87074-526	39.90	0.47	MS

(续附表1)

小麦材料 Wheat entry	徐州试点 Xuzhou site			小麦材料 Wheat entry	南京试点 Nanjing site		
	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype		病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype
济南 2 号	33.49	0.58	MS	山农 070109	40.00	0.47	MS
京矮 21	33.70	0.58	MS	34-16-2-3	40.28	0.46	MS
石家庄 54	33.81	0.58	MS	4313-单-高-10	40.28	0.46	MS
小叶红	34.25	0.57	MS	6-4490	40.45	0.46	MS
鲁农 54272-1	34.48	0.57	MS	33-75-4	40.56	0.46	MS
陕 6826-1-2-1	34.53	0.57	MS	N9116H	40.56	0.46	MS
绵阳 15	35.11	0.56	MS	4313-单-低-20	41.18	0.45	MS
临辐 4459	35.43	0.56	MS	8N725-6	41.50	0.45	MS
成都光头	35.45	0.56	MS	4313-单-高-12	41.67	0.44	MS
济南 16	35.69	0.55	MS	6-4479	42.11	0.44	MS
远丰 175	35.71	0.55	MS	M842	42.50	0.43	MS
豫麦 21	36.00	0.55	MS	京东 3065A-4	43.00	0.43	MS
陕 77124-6-2-8-4-10-2	36.17	0.55	MS	65-8-7	43.18	0.42	MS
济南 17	36.25	0.55	MS	33-62-1-1	43.27	0.42	MS
品冬 904057	36.47	0.54	MS	WR9603-2	43.27	0.42	MS
品抗 595-596	36.73	0.54	MS	5634W9	43.50	0.42	MS
优早丰 311	36.92	0.54	MS	4302-2 单一系	43.50	0.42	MS
北京 05339	37.02	0.54	MS	山农 0095	43.63	0.42	MS
花培 21	37.20	0.54	MS	4313-单-低-17	43.63	0.42	MS
湘 1791	37.23	0.53	MS	55-1-5	43.87	0.42	MS
安 85 中 124-2	37.26	0.53	MS	5636W1	43.87	0.42	MS
冀麦 24	37.67	0.53	MS	M851-2	44.00	0.41	MS
扬麦 5 号	37.78	0.53	MS	6-4487	44.12	0.41	MS
鲁麦 15	37.78	0.53	MS	N9116M	44.50	0.41	MS
豫麦 41	37.86	0.53	MS	品冬 904067	44.71	0.40	HS
桥梁 BW36-7	37.92	0.53	MS	0223-50	44.81	0.40	HS
湘 1474	37.92	0.53	MS	6-4494	45.45	0.39	HS
太谷 TK84-1	38.18	0.52	MS	川 W568	45.50	0.39	HS
豫麦 15	38.26	0.52	MS	4302-3 系	45.50	0.39	HS
京东 08344	38.57	0.52	MS	34-29-6-1	46.15	0.38	HS
品抗 94	38.70	0.52	MS	33-61-19-1	46.43	0.38	HS
德州 845153	38.75	0.52	MS	冀紫 GQ-2	46.50	0.38	HS
贵 79(171)	38.80	0.52	MS	04 初 121	46.62	0.38	HS
湘农 2195-2-2-2	38.89	0.51	MS	4302-1 单一系	47.00	0.37	HS
铜 80(12)-22	39.03	0.51	MS	6-4481	47.12	0.37	HS
萧农 2290171	39.31	0.51	MS	4302-4 单一系	47.50	0.37	HS
早穗 23	39.32	0.51	MS	33-61-5-1 系	47.56	0.37	HS
苏夫	39.60	0.51	MS	6-4485	47.77	0.36	HS
临远 84-50239	40.63	0.49	MS	84(+)-79	48.15	0.36	HS
陕 6814-0-1	40.98	0.49	MS	6-4476	48.47	0.35	HS
赣 162	41.10	0.49	MS	4313-单-高-2	48.56	0.35	HS
川 86-1	41.67	0.48	MS	6-4493	48.77	0.35	HS
中大 8001	41.96	0.48	MS	34-28-17-6	49.04	0.35	HS
豫麦 13	42.18	0.47	MS	03038-2	49.50	0.34	HS

(续附表1)

小麦材料 Wheat entry	徐州试点 Xuzhou site			小麦材料 Wheat entry	南京试点 Nanjing site		
	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype		病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype
京东 08393	42.22	0.47	MS	31-1-3-3-12	50.00	0.33	HS
太原 381	42.32	0.47	MS	6-4468	50.00	0.33	HS
湘 1448-1	42.40	0.47	MS	冀 GQ-5	50.47	0.33	HS
湘 79 凡-265	42.61	0.47	MS	川 W5436	50.56	0.33	HS
昌潍 18	43.92	0.45	MS	6-4495	50.91	0.32	HS
中大 86-品 14	44.06	0.45	MS	4313-单-低-3	51.00	0.32	HS
网 93	44.55	0.44	MS	6-4472	51.34	0.32	HS
冀辐 8005	44.58	0.44	MS	32-62-6-2	51.42	0.31	HS
湘 1479	44.86	0.44	MS	32-70-2-4	51.75	0.31	HS
临远 84-50240	44.91	0.44	MS	33-61-5-1	52.00	0.31	HS
皖品 8021	45.05	0.44	MS	32-70-1-2	52.45	0.30	HS
平阳 269	45.12	0.44	MS	6-4484	52.59	0.30	HS
湘 1018-1	45.20	0.44	MS	34-2-4-4	52.88	0.29	HS
萧农 220021	45.49	0.43	MS	56-10-7	53.30	0.29	HS
早穗 30	46.27	0.42	MS	32-61-4-1	53.50	0.29	HS
冀 82 观 643 选	46.30	0.42	MS	6-4488	53.50	0.29	HS
辐 325	46.34	0.42	MS	6-4489	53.50	0.29	HS
西安 156-127	46.59	0.42	MS	6-4466	53.64	0.28	HS
鲁麦 21	46.77	0.42	MS	川 W1522	54.00	0.28	HS
冀辐 80-58	46.79	0.42	MS	SDAU 422	54.07	0.28	HS
鲁农 83(4)081	46.79	0.42	MS	32-61-4-1	54.33	0.28	HS
湘 1448-2	46.79	0.42	MS	33-61-8-6	54.50	0.27	HS
筑麦 18	46.88	0.41	MS	33-61-8-1	54.79	0.27	HS
湘 286-1	47.09	0.41	MS	3400W3	54.81	0.27	HS
苏徐 7880-14-1-4-2	47.17	0.41	MS	47-3-8	54.86	0.27	HS
单 R7611	47.56	0.41	MS	33-67-1-2	54.90	0.27	HS
豫 790800-1-10-2-3-6	47.64	0.40	HS	6-4478	56.13	0.25	HS
品冬 904024	47.84	0.40	HS	31-1-3-3-1	56.50	0.25	HS
西昌 3511	47.95	0.40	HS	6-4473	56.50	0.25	HS
石良 4001	48.00	0.40	HS	川间 227	57.14	0.24	HS
远 8444	48.12	0.40	HS	6-4483	57.35	0.24	HS
皖品 8056	48.22	0.40	HS	小观 54	57.87	0.23	HS
宁 82049	48.28	0.40	HS	6-4469	58.33	0.22	HS
品冬 93148-1-2	48.62	0.39	HS	6-4491	59.21	0.21	HS
京东 82-42	48.77	0.39	HS	6-4475	60.58	0.19	HS
湘 1437	48.89	0.39	HS	87-1-9	60.91	0.19	HS
苏徐 7654-28-9-2-1	49.07	0.39	HS	03749-1	61.00	0.19	HS
早产比-11	49.21	0.38	HS	6-4470	61.79	0.18	HS
京冬 8 号	49.36	0.38	HS	6-4477	62.25	0.17	HS
榆田选 2 号	49.64	0.38	HS	品冬 904070	62.75	0.16	HS
豫麦 49	49.83	0.38	HS	3402W3	62.75	0.16	HS
鲁农 85(5)135	50.00	0.38	HS	川 W 大穗	62.98	0.16	HS
品冬 35	50.00	0.38	HS	63-1-7	63.00	0.16	HS
核不育 BT601	50.71	0.37	HS	6-4471	64.15	0.14	HS

(续附表1)

小麦材料 Wheat entry	徐州试点 Xuzhou site			小麦材料 Wheat entry	南京试点 Nanjing site		
	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype		病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype
衡麦 1 号	51.08	0.36	HS	珍珠绿	64.50	0.14	HS
京矮 9 号	51.17	0.36	HS	33-67-1-7	65.09	0.13	HS
品冬 904001-2	51.27	0.36	HS	32-70-1-6	65.09	0.13	HS
陕 7859	51.53	0.36	HS	6-4482	67.54	0.10	HS
冀 86-30734	51.54	0.36	HS	33-61-11-2	67.71	0.10	HS
湘 IR 万(2)	51.67	0.35	HS	品冬 904064	69.12	0.08	HS
蒙科 3 号 A	51.93	0.35	HS	6-4474	69.50	0.07	HS
济南 9 号	51.94	0.35	HS	KS 三联	70.10	0.07	HS
临远 4055	52.26	0.35	HS	川间 1801	73.91	0.01	HS
冀 Z124	52.56	0.34	HS	34-7-9	75.00	0.00	HS
绵农 4 号	52.70	0.34	HS				
鲁麦 23	52.77	0.34	HS				
绵阳 11	53.33	0.33	HS				
兴农 5 号	54.09	0.32	HS				
博爱 7023	54.29	0.32	HS				
长丰 4 号	54.39	0.32	HS				
宝农 8994	54.84	0.31	HS				
豫 830615	55.48	0.31	HS				
桥梁 BW-19	56.22	0.30	HS				
兴农 9 号	57.24	0.28	HS				
京双 10 号	58.08	0.27	HS				
镇 7495	58.36	0.27	HS				
冀邢 4021	58.71	0.27	HS				
湘 1022	60.00	0.25	HS				
太辐 37	61.40	0.23	HS				
皖品 8309	61.52	0.23	HS				
徐州 21	61.72	0.23	HS				
长阳 73 长 2	62.08	0.22	HS				
许跃 6 号	64.17	0.20	HS				
矮丰 1 号	65.38	0.18	HS				
辐 63	66.17	0.17	HS				
扬麦 4 号	66.93	0.16	HS				
矮变 1 号	67.65	0.15	HS				
豫麦 54	68.21	0.15	HS				
湘麦 10 号	68.36	0.15	HS				
苏扬 8-1-2	71.82	0.10	HS				
温麦 8 号	76.27	0.05	HS				
扬 9290	80.00	0.00	HS				

RRI: Relative resistance index. MR: 中抗; MS: 中感; HS: 高感。MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; HS: highly susceptible.

附表 2 小麦-偃麦草材料在徐州试点与南京试点的病情指数、相对抗病指数和反应型

Appendix 2 Disease indices, relative resistance indices, and phenotypes of wheat-*Thinopyrum* derivatives in Xuzhou and Nanjing

品系 Line	徐州试点 Xuzhou site			南京试点 Nanjing site		
	病情指数	相对抗病指数	反应型	病情指数	相对抗病指数	反应型
	Disease index	RRI	Phenotype	Disease index	RRI	Phenotype
小麦-中间偃麦草杂种后代 Wheat- <i>Thinopyrum intermedium</i> derivatives						
TA3513	29.05	0.64	MR	31.86	0.58	MS
TA3515	36.67	0.54	MS	29.84	0.60	MS
TA3516	47.76	0.40	HS	30.66	0.59	MS
TA3517	30.37	0.62	MR	29.41	0.61	MR
TA3519	45.24	0.43	MS	28.24	0.62	MR
TA3650	32.00	0.60	MS	42.79	0.43	MS
TA3667	45.47	0.43	MS	54.33	0.28	HS
93WGRC27	33.33	0.58	MS	29.02	0.61	MR
A29-13-2-1	30.32	0.62	MR	37.50	0.50	MS
绿中 ₁	31.71	0.60	MS	56.86	0.24	HS
灰中 ₁	35.90	0.55	MS	51.50	0.31	HS
中 ₂	30.77	0.62	MR	42.92	0.43	MS
中 ₃	26.07	0.67	MR	62.25	0.17	HS
中 ₄	28.33	0.65	MR	36.29	0.52	MS
中 ₅	27.00	0.66	MR	55.19	0.26	HS
4165R	31.64	0.60	MS	52.68	0.30	HS
4266R	32.59	0.59	MS	60.85	0.19	HS
4272R	38.03	0.52	MS	42.00	0.44	MS
4292R	40.54	0.49	MS	55.19	0.26	HS
小麦-长穗偃麦草杂种后代 Wheat- <i>Thinopyrum ponticum</i> derivatives						
TA5040	43.10	0.46	MS	41.83	0.44	MS
TA7700	56.29	0.30	HS	62.25	0.17	HS
Blue Baart	33.73	0.58	MS	34.13	0.54	MS
Blue Norco	30.56	0.62	MR	55.77	0.26	HS
PC261	31.79	0.60	MS	51.89	0.31	HS
T-Ae	35.38	0.56	MS	43.75	0.42	MS
R-Ae 4D	30.77	0.62	MR	48.08	0.36	HS
R-Ae4D+5D	38.75	0.52	MS	49.52	0.34	HS
R-Ae4D+5D+6D	39.56	0.51	MS	37.75	0.50	MS
R-Ae4D+6D	35.85	0.55	MS	25.98	0.65	MR
Wheat+4J (Mexico)	37.68	0.53	MS	45.59	0.39	HS
S-615	39.12	0.51	MS	40.87	0.46	MS
TA3409	41.43	0.48	MS	57.69	0.23	HS
Spitzer	24.80	0.69	MR	39.42	0.47	MS
AT3425	27.92	0.65	MR	42.16	0.44	MS
TA8023	46.09	0.42	MS	58.33	0.22	HS
CS 4E/4D	39.07	0.51	MS	54.81	0.27	HS
Agrotana	35.92	0.55	MS	42.16	0.44	MS
PI 550713	32.90	0.59	MS	56.37	0.25	HS
PI 550715	48.44	0.39	HS	64.22	0.14	HS
SS49	42.54	0.47	MS	58.82	0.22	HS
SS56	42.31	0.47	MS	42.50	0.43	MS

(续附表 2)

品系 Line	徐州试点 Xuzhou site			南京试点 Nanjing site		
	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype	病情指数 Disease index	相对抗病指数 RRI	反应型 Phenotype
小麦-长穗偃麦草杂种后代	Wheat- <i>Thinopyrum ponticum</i> derivatives					
SS60	30.63	0.62	MR	56.50	0.25	HS
SS103	43.33	0.46	MS	45.00	0.40	HS
SS191	36.14	0.55	MS	52.45	0.30	HS
SS237	28.80	0.64	MR	50.50	0.33	HS
SS241	30.20	0.62	MR	45.67	0.39	HS
SS259	29.64	0.63	MR	61.27	0.18	HS
SS364	40.36	0.50	MS	51.96	0.31	HS
SS365	37.57	0.53	MS	60.33	0.20	HS
SS452	33.10	0.59	MS	53.00	0.29	HS
SS485	32.98	0.59	MS	51.47	0.31	HS
SS498	38.43	0.52	MS	46.57	0.38	HS
SS524	28.63	0.64	MR	58.50	0.22	HS
SS679	31.71	0.60	MS	52.38	0.30	HS
SS744	30.00	0.63	MR	43.14	0.42	MS
SS767	29.00	0.64	MR	28.85	0.62	MR
SS791	33.64	0.58	MS	47.12	0.37	HS

MR: 中抗; MS: 中感; HS: 高感。MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; HS: highly susceptible.