

# 不同抗条锈类型冬小麦成株期病情响应及产量分析

何春雨,张礼军,杜久元,周祥椿,周洁,白斌,周刚

(甘肃省农业科学院小麦研究所/国家小麦产业技术体系甘肃小麦综合试验站,甘肃兰州 730070)

**摘要:** 为了解不同抗条锈性类型品种的反应特征,以利于抗条锈种质资源的选择和抗锈育种选育,在大田成株期、条锈病压力相同的条件下,对分属不同抗性类型的五个冬小麦品种的条锈病感染响应动态和产量损失率进行了研究。结果表明,高感快锈类型(HX型)、高感中度快锈兼具高温抗性类型(L1型)、高感中度慢锈兼具高温抗性类型(L10型)、慢锈类型(LB型)、慢锈兼具高温抗性类型(NS型)的普遍率、严重度、病情指数呈现规律性变化,随生育进程的推进,五个类型小麦在不同生育阶段表现出明显的个性特征。慢锈类型品种潜育期最长,特别是与高温抗性结合的品种,对锈菌的生长发育具有更强的抑制作用,可有效控制病情发展和发生;HX型品种潜育期最短,其他类型居于二者之间。LB和NS型品种不会出现免疫现象,反应型一般为0;~2型。高感类型千粒重和产量损失较大。

**关键词:** 冬小麦;抗条锈类型;成株期;抗性响应动态

中图分类号:S512.1;S435.121.4<sup>+</sup>2

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2011)04-0757-05

## Study on Different Typical-resistant Responses of Winter Wheat to Stripe Rust at Adult Stage and Their Influences on Yield

HE Chun-yu, ZHANG Li-jun, DU Jiu-yuan, ZHOU Xiang-chun, ZHOU Jie, BAI Bin, ZHOU Gang

(Wheat Institute of Gansu Agricultural Science Academy/Gansu Station of China Wheat Industry and Technology System, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** The responses of five winter wheat cultivars with typical-resistance to strip rust at the adult stage and their yield losses were investigated to understand the dynamic characters of different stripe rust resistant cultivars and promote the selection of materials for breeding. After being inoculated with the main races and observing the dynamic responses to strip rust, we obtained the results that the prevalence, severity, disease index of strip rust in different types of cultivars showed specific changes along with wheat growing, the five types could be characterized as high susceptibility and quick rust (abbreviated as HX), high susceptibility and middle-quick rust with high-temperature resistance (L1), high susceptibility and middle-slow rust with high-temperature resistance (L10), slow rust (LB) and slow rust with high-temperature resistance (NS). Latent period could be lasted by slow rust character in cultivars; especially the slow rust with high temperature resistance(NS) was able to control stripe rust effectively. High susceptibility and quick rust (HX) always appeared symptom early and quickly while the others appeared the symptom later. The response type of LB and NS type was 0;and ~2 with no immunity, respectively. The losses of 1000-kernel weight and yield increased with development of susceptibility and spreading of strip rust.

**Key words:** Stripe rust resistance; Typical winter wheat cultivars; Adult stage; Dynamic response of resistance

\* 收稿日期:2011-01-24 修回日期:2011-02-22

**基金项目:** 国家公益性行业(农业)科研专项(200903035-13);国家现代农业产业技术体系建设专项(CAAS-03-02B);甘肃省科技攻关项目(ZGS042-A41-001-03)。

**作者简介:** 何春雨(1978-),男,硕士,助研,主要从事小麦抗性育种和栽培生理方面的研究。E-mail: hchy456789@163.com

不同抗条锈类型小麦品种在田间对条锈病的响应和动态变化,不仅能够反映其自身抗性的强弱,也能体现当时病害的流行特点、强度。准确选择抗条锈病小麦类型可防止当前抗源材料大面积利用过程中单一抗性丧失导致的小麦产量大面积损失<sup>[1-2]</sup>。多年来,研究人员对 Libellula (简称 LB,下同)、N. Strampelli(NS)、兰天1号(L1)、兰天10号(L10)、辉县红(HX)等品种在条锈病成株抗性遗传、主效和微效基因分子标记、农艺性状观察、持久抗性检测、抗病机理、苗期抗病成份、侵染后部分生理指标和生化反应、品种不同抗病类型判别函数的建立、栽培技术对条锈病控制等方面进行了研究,并取得了较大的进展<sup>[5-17]</sup>,较准确地界定了这些品种抗性特点和分属类型。其中, HX 为高感快锈品种,不含有效抗条锈基因; L1 是利用洛夫林 13 为母本、墨西哥 30 为父本杂交选育而成,推广初期表现免疫,属高感快锈品种,并兼具高温抗性<sup>[3,8]</sup>; L10 是利用西峰 16 为母本, 76-89-13 为父本杂交选育而成,属于高度慢锈品种,后期也具高温抗性特点; LB 和 NS 在陇南引进栽培已近 40 年,至今仍然有较大的种植面积,特别是在陇南市的武都区 NS 仍然是高山区的主栽品种之一,2010 年播种面积超过 0.2 万 hm<sup>2</sup>,二者具有持久抗性; LB 抗性由一对显性和一对隐性互补主效基因和若干成株期微效温敏基因共同控制,成株期对 CY25、水 4 的抗性由 2 对隐性基因重叠或独立控制<sup>[3,6-8,11-13,17-22]</sup>,但是关于这 5 个品种在成株期对条锈病响应的动态变化和产量损失却鲜见研究报道。鉴于此,本研究以不同抗病类型特点为基础,分析了这 5 个品种的成株期抗性响应动态,以期更深入认识这些品种的抗性类型以及变化趋势,用以预测具不同遗传背景、相同抗性类型品种的病情发展变化,为育种和抗性研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选择 5 个典型分属不同抗性类型的品种 Libellula (简称 LB,慢锈类型)、N. Strampelli(NS,慢锈兼具高温抗性类型)、兰天 1 号(L1,高感快锈品种,兼具高温抗性)、兰天 10 号(L10,高感慢锈品种,后期具有高温抗性特点)和辉县红(HX,为高感快锈型)为材料。供试小麦条锈菌菌种为

包含目前主要流行小种在内的混合菌系(由甘肃省农科院植保所提供)。2004 年秋播,2005 年 6 月 26 日收获。

### 1.2 试验设计

采用随机区组设计,小区面积 4 m<sup>2</sup> (2 m×2 m),重复 4 次。4 个重复中间再设两个重复,喷药保护(全生育期统一喷粉锈宁 2 次),作为对照(CK),两边重复接种处理,四周统一种植辉县红作为保护行。于 2005 年 4 月 26 日下午 6 时天气状况良好、无风时用小型喷雾器接种混合菌,然后立刻覆膜保湿。

### 1.3 调查指标及方法

在小麦不同生育阶段[5 月 5 日—5 月 13 日(S<sub>1</sub>)、5 月 13 日—5 月 18 日(S<sub>2</sub>)、5 月 18 日—5 月 23 日(S<sub>3</sub>)、5 月 23 日—5 月 27 日(S<sub>4</sub>)、5 月 27 日—5 月 30 日(S<sub>5</sub>)和 5 月 30 日—5 月 64 日(S<sub>6</sub>)六个阶段]对以下指标进行调查。

(1)潜育期:接菌后第 10 天起,每天在接菌区逐品种仔细检查,以各品种顶三叶上有 50%孢子堆破裂日期为准,推算潜育期。

(2)反应型:采用 6 级法,即免疫(0)、近免疫(0<sub>1</sub>)、高抗(1)、中抗(2)、中感(3)、高感(4),于对照发病第 25 天进行一次性记载。

(3)普遍率:在每品种每重复均匀随机地调查 100 片叶,统计病叶率。每品种发病第三天开始调查,每隔 5 d 调查 1 次,直至该品种不再产生新孢子堆为止。

(4)严重度:每品种每重复均匀随机测 50 片病叶,每片记载病斑面积和叶面积,计算每片严重度,统计平均值。严重度以实测数据计量,调查起至时间同普遍率。

(5)病情指数:病情指数=普遍率×严重度。

(6)病斑扩展速率:在每品种每重复小区内随机标记 20 片发病旗叶,取其中部的 1 个单病斑,每 4 d 左右测病斑面积一次,直至病斑枯死不再扩展。

(7)千粒重损失率和产量测算:小麦成熟后,各小区单收单脱,测定千粒重和小区产量,求出各品种千粒重损失率和折合公顷产量。千粒重损失率计算公式为:千粒重损失率(%)=[(喷药保护小区千粒重—接菌发病小区千粒重)/喷药保护小区千粒重]×100%

## 1.4 数据处理

所有测量数据利用 Excel2003 和 SPSS11.5 软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同抗性类型小麦品种的条锈病普遍率变化动态

小麦条锈病普遍率随生育进程的推进,呈现规律性变化,且不同抗性类型品种间的变化特点差异较大(图 1)。HX 从  $S_1 \sim S_6$  阶段普遍率上升最快,从最初的 26.3% 增加最终的 100.0%。L1 在条锈病始发期与 HX 相似,终期普遍率达到 86.0%,  $S_3$  增长速率高,但持续时间较短,此后感病速率增长幅度明显降低,最终普遍率低于 HX。L10 初期普遍率仅为 3.35%,但是在  $S_1 \sim S_4$  阶段感病率持续上升,最终达到 68.0%。LB  $S_1 \sim S_4$  前增长速率较低, $S_5 \sim S_6$  明显加快。NS 从  $S_1 \sim S_6$  阶段变化幅度较小。

### 2.2 不同抗性类型小麦品种的条锈病严重度变化动态

HX 从  $S_1$  到  $S_6$  阶段条锈病严重度呈上升趋势,其中  $S_1 \sim S_5$  阶段增幅为 0.68 个百分点  $\cdot d^{-1}$ ,  $S_6$  速率陡升,达到 1.05 个百分点  $\cdot d^{-1}$ 。L1 表现出“慢—快—慢”的特点, $S_1 \sim S_3$  平均增幅为 0.19 个百分点  $\cdot d^{-1}$ , $S_4 \sim S_5$  增幅 0.77 个百分点  $\cdot d^{-1}$ ,  $S_6$  显著降低,最终严重度达到 8.69%。L10 在  $S_1 \sim S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5 \sim S_6$  三个阶段呈“快—慢—更快”特点,增速依次是 0.94、0.42 和 1.21 个百分点  $\cdot d^{-1}$ 。LB 变化相对复杂, $S_1 \sim S_5$  总体呈增加趋势, $S_6$  降低,最大严重度为 4.92%。NS  $S_1 \sim S_6$  增加极为缓慢,平均增幅仅为 0.02 个百分点  $\cdot d^{-1}$ ,最终严重度仅达到 0.44%(图 2)。说明不同抗病类型的小麦品种条锈病的严重度变化存在明显差异。

### 2.3 不同抗性类型小麦品种的病斑扩展速率变化动态

分析结果(图 3)表明,HX、L10 和 L1 的病斑扩展速率动态图呈较为典型的“倒钟型”正态分布, $S_1 \sim S_3$  三者的病斑扩展速率呈持续增加趋势,增速依次为 38.76、25.12 和 21.04  $mm^2 \cdot d^{-1}$ , $S_4$  开始降低, $S_6$  时的病斑扩展速率分别为 16.57、9.86 和 4.34  $mm^2 \cdot d^{-1}$ 。LB 的病斑扩展速率在  $S_2$  达到最大值(6.90  $mm^2 \cdot d^{-1}$ ), $S_2 \sim S_5$  速率逐渐降低, $S_6$  时达到 2.34  $mm^2 \cdot d^{-1}$ 。NS

完全有别于其他品种,从开始显症到发病,呈持续增加态势,最后在 6 月 4 日达到最大速率 2.06  $mm^2 \cdot d^{-1}$ ,但在整个变化过程中的增幅都保持在较低的水平上。

图 1 不同抗性类型品种的条锈病普遍率变化动态  
Fig. 1 Disease prevalence of different resistant cultivars

图 2 不同抗性类型品种的条锈病严重度变化动态  
Fig. 2 Disease severity of different resistant cultivars

图 3 不同抗性类型品种的条锈病病斑扩展速率变化动态

Fig. 3 Disease mark expanding rate of different resistant cultivars

## 2.4 不同类型品种的抗性指标、千粒重和产量差异

高感快锈类型品种潜育期最短,其他类型居于二者之间。品种间病情指数变化规律与潜育期相似,发病越晚,病情指数越低,产量损失越小。持久抗性和高温抗性结合类型或者具有其中之一

特点的品种,反应型、严重度和最终病情指数均较低。另外,LB和NS未出现免疫现象,反应型一般都为0;~2型,病情指数低。千粒重和产量均为高感快锈品种损失较大,中感慢锈品种相对较低,持久和高温抗性类型最低。

表1 不同类型品种的抗性指标、千粒重和产量

Table 1 Resistance indexes, thousand-grain weight and yield of cultivars with different resistance to strip rust

项目 Item	HX	L <sub>1</sub>	L <sub>10</sub>	LB	NS
潜育期 Latent period/d	13.5	15.5	14.5	17.0	19.5
最终病情指数 Final disease index	0.2534	0.0747	0.1753	0.0160	0.0003
反应型 Response type	4	4	3~4	0~2	0~2
千粒重 接种区 Inoculated/g	32.8	44.7	43.4	35.4	37.7
1000-grain weight CK/g	37.9	49.8	46.1	36.0	38.0
损失率 Lose rate/%	13.5	7.4	5.9	1.7	0.8
产量 Yield 接种区 Inoculated/(kg·hm <sup>-2</sup> )	4 337.7	5 412.8	4 600.2	5 375.3	6 125.3
CK/(kg·hm <sup>-2</sup> )	6 112.8	6 634.9	5 625.4	5 462.8	6 200.3
损失率 Lose rate/%	29.0	18.4	18.2	1.6	1.2

## 3 讨论

不同小麦品种对条锈病菌侵染的响应动态反映出抗性类型的差异,其他研究者的同类报道<sup>[7-8]</sup>在本次试验中也得以印证。成株期对条锈病侵染的反应也有本质的区别<sup>[23-27]</sup>,同一小麦品种在温度和湿度不同条件下,条锈病侵染后表现出不同的症状,这一点其他学者也提到<sup>[17,19,28-29]</sup>,但是没有明确数据和变化动态来佐证,本次试验在此方面初步做了探索。典型类型对相同小种具有特异反应,借此可以较准确地分析流行小种的频率、强度、毒性、比例等重要信息,从病理角度开展的研究报道较多<sup>[23-26,30]</sup>,但是以抗性品种作为参照体系的研究却不多见。

持久抗性品种可能具有较高的普遍率,但是严重度很低;或者严重度相对较高,而普遍率很低,从而不会形成大面积的减产。本试验将不同类型抗病品种在遭受条锈病侵染后的产量损失特点更加详细地加以研究和论述,有别于以往概括性的研究<sup>[27-29]</sup>。高感快锈品种产量损失远远高于具有持久抗性和高温抗性的品种,并且其所传菌源量高出很多<sup>[17,23,30,31]</sup>。

高感快锈类型品种的病情发展不随中后期温度升高而降低速度,直至达到最高,这与许多研究者的结论<sup>[26-27]</sup>一样。高感兼具高温抗性类型品

种,随着气温逐渐升高,普遍率增速显著减缓,严重度由高降低,病情发展与温度变化有较大的关联,从另一方面也说明了该类型品种具有高温抗性<sup>[28,29]</sup>。慢锈类型品种,一般在生育中后期才开始显症,病情增速缓慢,虽然有一个快增期,但持续时间较短且增幅较小;随着后期气温的逐渐增高,条锈菌的侵染和生存受到严重影响,从而显著减轻病害<sup>[21,28]</sup>。慢锈兼具高温抗性类型品种,显症较晚,普遍率增速缓慢,即使有快增期,其增幅和持续时间不足以产生明显的破坏效应,病情发展对产量基本不构成影响<sup>[27,30]</sup>。慢锈性和高温抗性结合类型,反应型不仅较低,而且严重度和最终病情指数都低,这种类型在陇南具有较强的发展潜力,原因在于其不仅可有效降低或消除条锈病流行造成的产量损失,而且可降低输往关中及黄淮海麦区的条锈病菌源量,减少发病机率,从而有利于增加小麦生产的安全性<sup>[26,30-31]</sup>。

### 参考文献:

- [1]李振岐,曾士迈.中国小麦锈病[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [2]万安民,吴立人,牛永春,等.持久抗小麦条锈病品种对我国主要流行小种成株抗性表现[A].中国青年农业科学学术年报[C].北京:中国农业出版社,1999:480-485.
- [3]周祥椿,杜久元.陇南小麦生产品种抗条锈病持久性研究[J].麦类作物学报,2006,26(1):108-112.

- [4]Guo Q, Zhang Z J, Xu Y B, *et al.* Quantitative trait loci for high-temperature adult-plant and slow-rusting resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in wheat cultivars[J]. *Phytopathology*, 2008, 98: 803-809.
- [5]曾士迈. 作物品种抗病性持久化的研究[J]. *世界农业*, 1985 (7): 29-31.
- [6]周祥椿, 杜久元. 对持续控制陇南小麦条锈病的思考与探索[J]. *植物保护*, 2000, 26(2): 35-36.
- [7]董云, 尚勋武, 周祥椿, 等. 小麦持久抗条锈病品种的定量判别研究[J]. *西北农业学报*, 2006, 15(2): 96-99.
- [8]周祥椿, 杜久元, 杨俊海. 甘肃陇南小麦不同品种类型抗条锈性变化特点分析[J]. *植物病理学报*, 2003, 33(6): 550-554.
- [9]Lin F., Chen X. M. Quantitative trait loci for on-racespecific, high-temperature adult-plant resistance to stripe rust in wheat cultivar express[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, 116: 797-806.
- [10]冯晶, 张忠军, 李国辉, 等. 5个持久抗条锈病小麦品种的抗性组分和遗传距离的研究[J]. *植物病理学报*, 2007, 37(2): 175-183.
- [11]殷学贵, 尚勋武, 宋建荣. 小麦品种里勃留拉的持久抗条锈性遗传机制[J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(2): 147-150.
- [12]李强, 胡茂林, 井金学, 等. 小麦持久抗条锈性品种 N. Strampelli 苗期抗性遗传分析[J]. *植物病理学报*, 2008, 38(5): 521-525.
- [13]李强, 井金学, 王保通, 等. 小麦持久抗条锈性品种里勃留拉抗性遗传初步分析[J]. *植物保护学报*, 2007, 34(3): 333-334.
- [14]李仁, 商鸿生. 条锈菌感染后田间小麦植株蒸腾作用的变化[J]. *福建农业学报*, 2001, 16(1): 8-11.
- [15]秦丽萍. 慢条锈小麦品种的生理生化特性研究[D]. 甘肃农业大学硕士学位论文, 2004.
- [16]Lu Y M, Lan C X, Liang S S, *et al.* QTL mapping for adult-plant resistance to stripe rust in Italian common wheat cultivars Libellula and Strampelli[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009, 119: 1349-1359.
- [17]马青, 王美楠, 商鸿生, 等. 小麦慢锈性和高温抗锈性组分分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(4): 51-54.
- [18]Hao C Y, Zhang X Y, Wang L F, *et al.* Genetic diversity and core collection evaluations in common wheat germplasm from the northwestern spring wheat region in China[J]. *Molecular Breeding*, 2006, 17: 69-77.
- [19]张莹花, 尚勋武, 周祥椿, 等. 小麦慢条锈性特点的研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 2005, 8(4): 521-525.
- [20]Li Z F, Xia X C, Zhou C X, *et al.* Seedling and slow rusting resistance to stripe rust in Chinese common wheats[J]. *Plant Dis.* 2006, 90: 1302-1312.
- [21]曾士迈, 王沛有, 武修英, 等. 小麦对条锈病的水平抗病性研究初报[J]. *植物保护学报*, 1979, 6(1): 1-10.
- [22]郭世保, 黄丽丽, 康振生, 等. 小麦多品种混播控制条锈病的效果和机理研究[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(10): 3485-3492.
- [23]Santra D K, Chen X M, Santra M, *et al.* Identification and mapping QTL for high-temperature adult-plant resistance to stripe rust in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Stephens[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, 117: 793-802.
- [24]王凤乐, 吴立人, 徐世昌, 等. 持久抗条锈小麦品种抗病性特点分析[J]. *植物保护*, 1997, 23(3): 3-6.
- [25]万安民, 牛永春, 吴立人. 中国小麦品种抗条锈性丧失及其治理对策[A]. *植物保护与植物营养研究进展* [C], 北京: 中国农业出版社, 1999: 65-81.
- [26]万安民, 牛永春, 徐世昌, 等. 持久抗条锈病小麦品种抗性特点及其在我国的利用价值[J]. *作物学报*, 2000, 26(6): 751-755.
- [27]Singh R P, Huerta-Espino J, Rajaram S. Achieving nearimmunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes[J]. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 2000, 35: 133-139.
- [28]杜久元, 鲁清林, 周刚. 引进国外小麦种质资源抗条锈性鉴定及其利用价值评价[J]. *植物保护*, 2006, 32(1): 83-85.
- [29]Zhao H H, Singh R P, Huerta-Espino J, *et al.* Study of the adult-plant resistance at different growth stages to stripe rust in wheat[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2005, 4(7): 528-532.
- [30]黄木易, 黄义德, 黄文江, 等. 冬小麦条锈病生理变化及其遥感机理[J]. *安徽农业科学*, 2004, 32(1): 132-134.
- [31]赵环环, Singh R P, Huerta-Espino J. 小麦品种成株期抗条锈性表达生育期的研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(2): 297-301.