

小麦抗条锈性研究进展

许凌凌

(芜湖职业技术学院 生物工程学院, 安徽 芜湖 241002)

摘要: 选育抗病品种是防治小麦条锈病最经济、最有效的途径。但是小麦抗病品种常因条锈菌毒性变异而丧失抗病性沦为感病品种, 给小麦生产造成巨大损失。为有效防治小麦条锈病, 阐述了小麦抗条锈性的表达特点和抗病机制, 以及利用抗病品种进行抗条锈病育种, 同时明确小麦条锈菌毒性变异途径, 并探讨了如何综合利用栽培、药剂和生物防治等措施防治小麦条锈病。

关键词: 抗条锈性; 抗条锈病育种; 毒性变异; 栽培防治; 药剂防治; 生物防治

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5639 (2019) 06-0062-05

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2019.06.012

Research Progress in Stripe Rust Resistance of Wheat

XU Lingling

(Biological Engineering Department, Wuhu Vocational Technical College, Wuhu, Anhui, China 241002)

Abstract: Breeding resistant varieties is the most economical and effective way to control wheat stripe rust. However, wheat resistant varieties often lose their resistance to stripe rust due to its toxicity variation and become susceptible varieties, causing great losses to wheat production. Therefore, in order to prevent effectively wheat stripe rust, the features of stripe rust resistance of wheat and resistance mechanism were studied. The stripe rust resistance breeding was carried out using resistant varieties. At the same time the pathway of toxicity variation of stripe rust was made certain and the methods how to apply comprehensively the cultivation control, chemical control and biological control were studied to prevent wheat stripe rust.

Key words: stripe rust resistance; stripe rust resistance breeding; toxicity variation; cultivation control; chemical control; biological control

小麦条锈病是我国小麦最重要的病害和主要防治对象, 该病害流行时会使小麦减产 20% ~ 30%。因此, 选育抗病品种是防治小麦条锈病最经济、最有效的措施。但小麦抗病品种常因条锈菌毒性变异而丧失抗病性, 成为感病品种。因此, 本文系统阐述了小麦抗条锈性的表达特点和抗病机制, 以及利用抗病品种进行抗条锈病育种, 并明确小麦条锈菌毒性变异途径。此外, 进一步探讨了怎样综合利用栽培、药剂、生物等措施防治小麦条锈病。以期有效开展小麦条锈病防治工作提供参考。

1 小麦品种的抗条锈性

抗病性是指植物体减轻或克服病原物致害作用的可遗传特性。而小麦的抗条锈性是小麦与条锈菌在长期的共同演化过程中形成的复杂性状^[1], 其主要有低反应型抗条锈性、慢条锈性、高温抗条锈性等类型。

1.1 低反应型抗条锈性

低反应型抗条锈性是条锈菌侵染所诱导的一种主动抗病性。而小麦育种的主要目标之一, 就是将抗病基因导入到农艺性状优良的育种材料中, 培育

收稿日期: 2019-07-28

基金项目: 安徽省教育厅高校自然科学研究重点项目 (KJ2017A561); 安徽省教育厅高校优秀青年人才支持计划重点项目 (gxyqZD2018101)。

作者简介: 许凌凌 (1982—), 女, 安徽芜湖人, 副教授, 硕士, 主要从事生物技术及其应用研究。

高产优质的低反应型抗条锈品种。

1.1.1 表达特点

低反应型抗条锈性属于定性抗病性，可依据反应型级别定性划定，反应型分级为0, 0₁, 1, 2, 3, 4共6级，其抗条锈性分别对应的抗病程度为免疫、近免疫、高度抗病、中度抗病、中度感病、高度感病。低反应型抗条锈性的抗病效能高。免疫至近免疫的品种能迅速抑制病原菌的侵染，不产生夏孢子堆；高抗品种可迅速抑制病原菌的侵染，病原菌虽可产生不正常的孢子堆，但基本不能繁殖；中抗品种对条锈菌的侵染也有强烈的抑制作用，产孢量降低，产孢期缩短，同时发病严重度相应降低。此外，低反应型抗条锈性受主效基因控制，大多为单基因简单遗传，部分为寡基因遗传^[2]，一般对环境条件的变化表现稳定，但温度、光照等环境要素的异常变动也会影响反应型的级别。

在条锈菌种内，可根据对不同小麦品种的毒性（致病性）区分多数生理小种。低反应型抗条锈性具有小种专化性，仅抵抗与条锈菌匹配的生理小种，而不抵抗其他小种。条锈菌的生理小种区系发生变化，出现了毒性不同的新小种，抗病品种就可能因不抵抗新小种而沦为感病品种^[3]。这种抗病性失效的现象为抗病性“丧失”。因此，抗病性失效是应用低反应型抗条锈性所面临的最严重问题。

1.1.2 抗病机制

低反应型抗条锈性的抗病机制是发生过敏性坏死反应。过敏性坏死反应又称过敏反应，也就是指植物对病原物侵染表现高度敏感的现象。发生此种反应时，叶片上侵染点细胞及其临近细胞迅速坏死，病原物受到遏制，或被封锁在枯死组织中而死亡。病叶不表现肉眼可见的明显症状或仅出现小型枯死斑，据此可划分为级别较低的反应型。低反应型抗条锈品种的共同特点是受到条锈菌侵染后表现侵染点的寄主细胞坏死^[4]。而条锈菌侵入感病品种后，菌丝在叶肉细胞间扩展，不断形成吸器母细胞和吸器，反复分支，导致无叶肉细胞坏死。

1.2 慢条锈性

慢条锈性是一类定量性状抗病性，即用定量指标表示的抗病性。品种之间的差异不表现为反应型的差别，而表现出数量性状的差异。

1.2.1 表达特点

慢条锈品种的抗病组分较复杂，其包括侵染概

率较低，潜伏期或潜育期较长、产孢量较低、产孢期较短等。慢条锈品种由于潜育期长，因此该品种普遍率和严重度较低，病情上升速度较缓，小麦受害较轻，产量降幅较小。此外，慢条锈性是小种非专化抗病性，对条锈菌的各个小种都表现某种程度的抗病性，因而也不会因为小种的变迁而失效^[5]。总之，慢条锈性的抗病效能虽然比低反应型抗病性低，但能够持久有效。

慢条锈性是由多数微效基因控制，属数量性状遗传，因而也被称为多基因抗病性或微效基因抗病性。此外，慢条锈性对环境及菌量的变动比较敏感，在环境条件非常适宜发病或菌量过大时，往往发病较重；而环境和菌量正常时，则发病较轻。

1.2.2 抗病机制

电镜检查显示，典型慢条锈品种表现菌落线性生长受抑，吸器母细胞减少，部分侵染点出现叶肉细胞坏死。条锈菌与慢条锈性小麦品种互作的超微结构研究结果^[6]表明，慢条锈性具有与低反应型抗条锈性相同的过敏性坏死反应特征，但慢条锈品种中小麦叶肉细胞坏死数目较少，仅部分阻抑了病菌的扩展。因该品种中病菌仅部分受抑，所以坏死程度轻。此外，慢条锈品种细胞还产生了防卫反应结构物质，但此类物质明显比低反应型抗病品种的少。随着慢条锈性的表达，条锈菌的胞间菌丝发育受抑，细胞器泡囊化解体，吸器母细胞和吸器发育受阻，导致细胞最终坏死。与低反应型抗病品种相比，慢条锈品种中病菌受抑，坏死程度轻，小麦细胞的过敏性坏死率也较低。

1.3 高温抗条锈性

高温抗条锈性是小麦品种在较高环境温度下表达的一种低反应型抗条锈性。

1.3.1 表达特点

高温抗条锈品种表现为低反应型抗条锈性。实验结果^[7]表明，在潜育期和花斑期经受高温诱导后，反应型级别降低，表现抗病反应，而在产孢期即使受到高温诱导也无明显抗病反应。高温抗条锈性没有小种专化性，属于低反应型抗条锈性，受少数主效基因控制，而非微效基因抗病性。高温抗条锈性表达后，伴随反应型的变化，孢子堆变小，产孢量减少，产孢期缩短。

1.3.2 抗病机制

实验结果^[8]显示，高温抗条锈性的细胞学特

征与低反应型抗条锈性的过敏性坏死相似。叶肉细胞形成了侵染诱导的防卫结构和次生物质，条锈菌菌丝生长受抑，吸器母细胞和吸器减少。同时小麦叶肉细胞的膜结构出现病变，细胞器解体，质膜凹陷，最终整个细胞坏死。高温抗条锈性受主效基因控制，具有持久抗病性，易于鉴定和选用^[9]。因此，有望利用高温抗条锈性解决品种抗条锈性变异问题。

2 小麦抗条锈病育种

选育和利用抗病品种是防治小麦条锈病最经济、最有效的途径。

2.1 抗条锈病种质资源

抗病种质资源简称抗原，是植物抗病育种的原始材料。系统地搜集、保存和研究抗原是抗病育种最重要的基础工作。小麦抗条锈病种质资源的类型主要有地方品种资源、外引品种资源、亲缘种资源以及人工改良与创新的抗原材料等。

2.1.1 地方品种资源

地方品种主要指古老的农家品种，也包括一些在当地长期种植的改良品种。这些品种经过长期自然选择和人工选择，积累了丰富的抗病性。地方品种的适应性和抗逆性较强，但产量较低，抗病基因常与控制不良农艺性状的基因连锁。

2.1.2 外引品种资源

外引品种资源指由外国、外地引进的品种资源，主要为育成的改良品种。外引改良品种综合性状好，多具有抗病效能高的低反应型抗病基因，又易于通过常规杂交育种方法转移抗病基因，因而是当前利用最多的抗原。

2.1.3 亲缘种资源

该种质资源包括作物的起源种、野生种、野生近缘种以及其他异种、异属植物。虽然近缘植物有杂交困难、杂交不育，以及抗病基因与不良性状连锁等问题，但在小麦亲缘植物中，其含有丰富的抗条锈病以及其他锈病的抗原，目前在育种中依然被广泛使用。

2.1.4 抗病育种中间材料

已有的种质资源有的难以直接应用，需经人工转育和创新，从而得到抗病的新物种、新类型、新品种（系）、染色体工程基础材料、突变体、基因标记材料等^[10]，尽管它们不具备优良的综合性状，

不能在生产上直接利用，但可作为育种中间材料用于抗病育种。

2.2 抗条锈病育种途径

小麦抗条锈病育种有多种途径，在实际应用时可根据育种目标和植物材料的特点选用。然而，在抗条锈病育种中所利用的基本是品种的低反应型抗条锈性，育种途径主要是常规杂交育种，而远缘杂交和染色体工程育种也起到重要作用。

2.2.1 引种

由国外或国内其他省、自治区引入抗病品种直接用于生产，是一种高效快捷的病害防治方法。引种时应当先引入少量种子，然后在当地标准栽培条件下鉴定抗病性并评价其适应性和稳定性，在取得试验数据并确认其具有应用价值后，再试种示范和繁殖推广。

2.2.2 系统选种

系统选种法是提高品种抗病性的有效措施，适用于在大面积种植的感病丰产品种中选择抗病单株，培育成兼具丰产、抗病的新品种。植物品种的群体不是绝对纯的，常有遗传异质性存在。在感病品种群体中，因突变、遗传分离以及其他原因，会出现极少数抗病单株。

2.2.3 常规杂交育种

种内有性杂交是基因重组，扩大遗传变异，创造新类型、新品种的有效途径，也是最基本、最重要的育种方法。大多数抗条锈品种是通过常规杂交育种而选育的。即使是染色体工程、基因工程创造的优良材料，最终也多通过常规育种而产生新品种。

2.2.4 远缘杂交和染色体工程

转移异源基因最初采用远缘杂交的方法，该方法用农作物品种与抗病的异种或异属植物进行种间或属间杂交，再用受体亲本进行回交。远缘杂交虽然是导入异源基因的一个有效途径，但需要克服杂交不亲和、结实率低、杂种败育等许多困难。染色体工程是以细胞生物学为基础，并与远缘杂交、诱变育种等紧密结合的生物技术。染色体工程是按照人们的预先设计，利用染色体工程基础材料，通过附加、代换和易位等操作改变植物染色体组成，在较短时间内将异源基因导入农作物品种，进而定向改变其遗传特性的育种技术^[11]。

2.2.5 其他育种途径

随着生物技术的发展，出现了许多新的育种途

径，如诱变育种^[12]、分子标记辅助育种^[13]、花药和花粉培养^[14]，以及单倍体育种^[15]等。

3 小麦条锈菌的毒性变异

小麦条锈菌可通过毒性变异导致品种丧失抗病性，引起条锈病的流行危害。小麦条锈菌一般通过基因突变、异核作用等途径发生毒性变异，其中基因突变是产生新的毒性基因的主要途径。

3.1 自发突变

条锈菌受到某些自然因素刺激，使其遗传物质发生改变而导致的毒性改变称为自发突变。自发突变是随机的，发生突变的个体、个体的某个染色体、染色体的某个位点，以及发生时间都是不确定的。同时，自发突变所获的突变体，在研究中只是根据其毒性变异表型作出的推论，而很难排除通过其他变异途径产生毒性改变的可能性^[16]。因此，自发突变在条锈菌毒性变异中出现及利用较少。

3.2 诱发突变

人工有意识地应用某些物理和化学诱变剂，以一定剂量对条锈菌进行处理，使其基因结构发生改变而导致毒性改变称为诱发突变。常用的物理诱变剂有紫外线、X射线、超声波等。化学诱变剂有天然嘧啶和嘌呤类似物、烷化剂类、移码诱变剂等。用诱变剂处理条锈菌孢子后，将其接种到筛选品种检出毒性突变体，或用诱变剂处理接种叶片，然后从其上检出突变体可以进行毒性基因及其结构等方面的研究。

条锈菌经过诱变所产生的突变体，若能遇到相匹配的小麦品种并且其本身适合度较高，又有连续分布的小麦品种的选择压力，可成为流行突变体，而使条锈菌群体结构发生明显改变，最终成为优势小种^[17]。通过系统研究^[18]中国小麦品种抗锈性失效规律，发现条锈菌毒性变异，不断产生新小种是导致品种丧失抗条锈性的主要原因。

4 综合防治措施

4.1 栽培防治与药剂防治

小麦抗病品种常因条锈菌毒性变异而导致其丧失抗病性，成为感病品种。因此，小麦条锈病防治应贯彻以“种植抗病品种为主，栽培和药剂防治为辅”的方针，并合理利用栽培、药剂和生物防治等措施。

4.1.1 栽培防治

栽培防治是通过调整和改善作物的生长环境，采取农业技术措施控制病害的方法。该方法具有增强作物抵抗力、控制菌量、减低病害等作用。通常此类措施需统筹安排，全面实施或长期连续实行方能奏效，且多与品种、药剂等防治措施配合使用^[19]。栽培防治措施多具有地域性、时效性，因此需因地制宜、因时制宜，且需综合应用调整作物布局、清除自生麦苗、合理调整播期、合理施肥灌水等措施才能达到防治效果。

4.1.2 药剂防治

药剂防治是防治小麦条锈病的重要措施，主要利用三唑类、烯唑类为主的高效低毒内吸杀菌剂进行大田喷药防治。对于缺少抗病品种或原有抗病品种抗条锈性失效，又无接班品种的麦区，需要进行药剂防治。而且，根据条锈菌田间表现选择最佳时期进行治疗性喷药，如错过施药时间，防治效果将大幅度降低。而且，选择小麦成株期条锈病发病程度不同的生产田进行喷药防治实验，研究结果^[20]表明，喷药时病情越重，喷药越晚，则防治效果就越差。

4.2 生物防治

抗病品种易因小麦条锈菌毒性变异而丧失抗病性。由于栽培防治措施因条件限制有些往往较难实现，药剂防治又易产生抗药性及造成污染环境。目前，利用微生物对农作物病害进行防治的生物防治技术已成为小麦条锈病防治研究的新方向。近年来，有研究^[21]发现，植物体内存在大量可以防治植物病害的内生菌，它们具有对植物无害并能促进植物生长，增强植物抗病害能力等特点。由于内生菌能定殖在植物细胞中，因而不受外界环境影响，具有可持续的作用。因此，利用内生菌的生物防治措施进行小麦条锈病防治具有环保、有效、可持续等优点，应用前景广阔。

5 小结

小麦条锈病作为我国小麦的主要病害，其防治措施主要是选用抗病品种。目前，多利用具有小种专业化性的低反应型抗条锈品种，但其常因条锈菌毒性变异丧失抗病性，而沦为感病品种，给小麦生产造成巨大损失。因此，本文阐述了小麦抗条锈性的表达特点、抗病机制，以及抗条锈病育种和条锈菌

毒性变异途径及防治措施. 在种植抗条锈品种的同时, 控制条锈菌毒性变异, 并合理利用栽培、药剂、生物防治等防治措施, 可发挥品种的作用和压低菌源. 对落实“预防为主、综合防治”方针, 防治小麦条锈病具有重要意义.

[参考文献]

- [1] 韩德俊, 康振生. 中国小麦品种抗条锈病现状及存在问题与对策 [J]. 植物保护, 2018, 44 (5): 1-12.
- [2] HAN D J, KANG Z S. Current status and future strategy in breeding wheat for resistance to stripe rust in China [J]. Plant Protection, 2018, 44 (5): 1-12.
- [3] MELANIA F, KIM E, HAMMOND K, et al. A review of wheat diseases-a field perspective [J]. Molecular Plant Pathology, 2018, 19 (6): 1523-1536.
- [4] 张羽, 张先平, 李小鹏, 等. 分子标记在小麦抗条锈病遗传育种中的应用研究进展 [J]. 分子植物育种, 2018, 16 (8): 6032-6045.
- [5] 李玮, 宋国琦, 张荣志, 等. 小麦几个多效抗病基因的利用现状及展望 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38 (7): 791-797.
- [6] 吴竞争. 小麦抗条锈病基因 Yr10 的遗传分析 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [7] NING Y S, WANG G L. Breeding plant broad-spectrum resistance without yield penalties [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115 (12): 2859-2861.
- [8] 杨媛. 小麦育种亲本材料抗条锈病基因的分子检测 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [9] BANSAL M, KAUR S, DHALIWAL H S, et al. Mapping of aegilops umbellulata-derived leaf rust and stripe loci in wheat [J]. Plant Pathology, 2017, 66 (1): 38-44.
- [10] 孙偲, 张鹏, 张琳, 等. 小麦外源抗条锈病基因及染色体定位研究进展 [J]. 分子植物育种, 2018, 16 (8): 2501-2510.
- [11] 朱晓果. 小麦条锈菌 MAPK 信号通路介导的致病机理及其在抗锈育种中的应用 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [12] OHNOUTKOVA L. Mutation breeding in barley: historical overview [J]. Methods in Molecular Biology, 2019 (1): 7-19.
- [13] 杜雪树, 夏明元, 李进波, 等. 水稻抗瘟性分子标记辅助育种的实践和策略 [J]. 分子植物育种, 2019, 17 (13): 4383-4389.
- [14] OHNOUTKOVA L, VLCKO T, AYALEW M. Barley anther culture [J]. Methods in Molecular Biology, 2019 (1): 37-52.
- [15] 王婵, 刘建勋, 王托和, 等. 单倍体育种技术在玉米种质创新上的应用与实践 [J]. 现代农业科技, 2019 (10): 32-33.
- [16] 黄苗苗, 孙振宇, 曹世勤, 等. 223 份小麦农家品种田间抗条锈病性评价及抗病基因分子检测 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (1): 90-100.
- [17] NSABIYERA V, BARIANA H S, QURESHI N, et al. Characterisation and mapping of adult plant stripe rust resistance in wheat accession Aus27284 [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2018, 131 (8): 1-9.
- [18] 黄淑杰. 侵染小麦和大麦的条锈菌的有性自交与毒性变异 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [19] SCHWESSINGER B. Fundamental wheat stripe rust research in the 21 (st) century [J]. New Phytologist, 2017, 213 (4): 1625-1631.
- [20] 张静, 张爱仙, 刘晶, 等. 不同药剂对小麦条锈病的防治效果研究 [J]. 现代农业科技, 2019 (17): 124-125.
- [21] KAMAL A M, HADEEL M M, MOHAMED H, et al. Biological control of the tomato wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis* using formulated plant growth-promoting bacteria [J]. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 2019, 29 (1): 1-8.

