

## 调 查 研 究

## Investigations

## 小麦秆锈菌新小种 Ug99 及其对我国的影响分析

曹远银\*, 韩建东, 朱桂清, 张 璐

(沈阳农业大学植物免疫研究所, 沈阳 110161)

**摘要** Ug99(TTKS)是1999年在乌干达首次发现的对最重要小麦抗秆锈病基因 *Sr31* 有强毒力的秆锈菌新小种。大量证据显示,该小种不仅具有极其特殊的毒力组合而且传播十分迅速,除在中非乌干达、东非肯尼亚、埃塞俄比亚、苏丹流行外,Ug99 现已越过红海、传到了阿拉伯国家也门,以及巴基斯坦的沿海地区,越来越逼近我国。Ug99 堪称我国的超毒小种,我国最典型的秆锈菌小种只能分别克服或 *Sr5* 或 *Sr9e* 或 *Sr11* 单基因抗性,而 Ug99 不仅具有 *Sr5*、*Sr9e*、*Sr11* 的联合毒力,而且还具有 *Sr21*、*Sr31*、*Sr38* 的联合毒力,而我国从未有小种能克服后者的抗性。1B/1L(含 *Sr31*)易位系曾是我国使用的重要秆锈抗源,必对 Ug99 高度脆弱,我国 118 份小麦品种在 KARI 的测定结果表明,高感品种频率 98.3%。一旦 Ug99 入侵我国,其他流行条件也完全具备。因此,充分作好防范 Ug99 流行的准备十分必要。

**关键词** 小麦; 秆锈病菌; 病害流行; Ug99; *Sr31*

**中图分类号** S 435.121.41

## Ug99, a new virulent race of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, and its effect on China

Cao Yuanyin, Han Jiandong, Zhu Guiqing, Zhang Lu

(Institute of Plant Immunology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract** Ug99 (designated as TTKS), found in Uganda in 1999, is a new virulent race of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* on *Sr31*, the backbone of stem rust resistance worldwide. It is evident that this race not only contains a unique combination of virulence but was disseminating very fast from Uganda in Central Africa to Kenya, Ethiopia and Sudan in Eastern Africa, and now is crossing Red Sea to Yemen in Arab or even to the coastal area in Pakistan in Southern Asia, which is close to China. Ug99 could be called a superior virulent race to widely-used and *Sr31*-carrying Chinese wheat cultivars or stem rust resistant sources. The number of virulent genes contained in Ug99 was more than the total carried in all Chinese stem rust races. For instance, the virulence of *Sr5*, *Sr9e* or *Sr11* was the typical races. However, besides the virulence of *Sr5*, *Sr9e* and *Sr11*, Ug99 contains additional virulence of *Sr21*, *Sr31* and *Sr38*, which have never been found in Chinese stem rust races. As mentioned above, there is an urgent risk from Ug99, if there are no preventive practices. Once Ug99 invaded in China, a catastrophic result could be seen.

**Key words** wheat; wheat stem rust; rust epidemic; Ug99; *Sr31*

### 1 Ug99 的发现与蔓延

小麦秆锈病(*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & Henn.)曾经是一种频繁造成小麦生产毁灭性损失的重要病害。由于全球小麦品种普遍引入

1B/1L 易位系中的王牌抗秆锈病基因 *Sr31*,保证了世界范围小麦秆锈病控制长达 30 年以上<sup>[1]</sup>。但 1999 年,中非国家乌干达突然在含 *Sr31* 的品种 Gamtoos 上发现有产生高感 4 型病斑的秆锈菌菌株(图 1)。这就是世界首次发现的对 *Sr31* 有强毒力的小麦秆锈菌

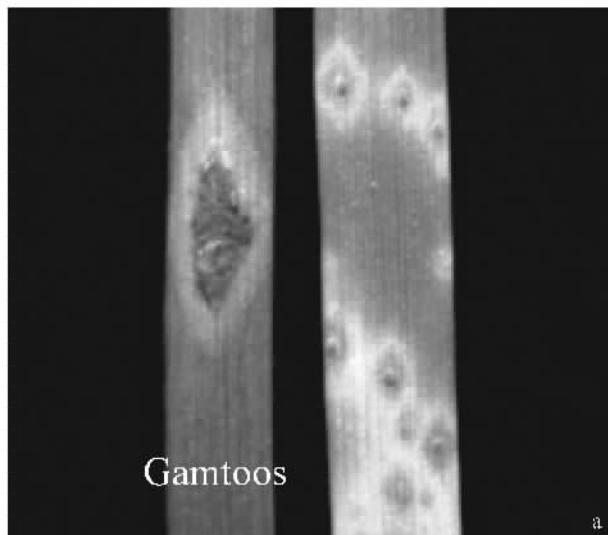
收稿日期: 2007-04-24 修订日期: 2007-08-04

基金项目: “十一五”国家支撑计划课题(2006BAD08A05)

\* 通讯作者 Tel:024-88487149; E-mail: caoyy@syau.edu.cn

新小种 Ug99,经美国农业部明尼苏达大学禾谷病害实验室的专家重鉴证实,该小种按北美秆锈菌小种命名法则,为小种 TTKS<sup>[2]</sup>。除了对 *Sr31* 的特殊毒力外, Ug99 还对其他 50 余个抗秆锈病基因多数都有极罕

见的联合致病力(*Sr5*、*Sr6*、*Sr7b*、*Sr8a*、*Sr8b*、*Sr9a*、*Sr9b*、*Sr9d*、*Sr9e*、*Sr9f*、*Sr11*、*Sr15*、*Sr17*、*Sr21*、*Sr30*、*Sr31* 和 *Sr38*)<sup>[2-4]</sup>。最近还观察到 Ug99 的毒力进化,出现了 *Sr24* 高感病斑<sup>[5]</sup>。



a. Gamtoos 含有 *Sr31* 抗秆锈病基因:左秆上高感4型由 Ug99 引起,右秆上抗病2型以下由其他小种引起



b. 小麦锈病小种 Ug99 田间流行情况

引自《自然》在线

图1 非洲小麦锈病小种 Ug99 侵染小麦症状

Ug99 夏孢子借盛行西风的高空气流,不仅于 2001 年从中非传到东非肯尼亚,2003 年又突破东非防线传到北非埃塞俄比亚、苏丹等国,2007 年 1 月前已越过红海,传到阿拉伯国家也门,成为含更广谱毒力的 Ug99 变异株<sup>[6]</sup>。并有更新报道:该小种已传到了巴基斯坦的沿海地区,引起了小麦秆锈病蔓延流行<sup>[7]</sup>。小种 Ug99 的这种蔓延传播模式与 CIMMYT 地理信息系统的专家们在近 2 年前预测的完全一样<sup>[6]</sup>,也与 1986 年东非出现的小麦条锈病新小种传播模式相同:当年条锈新小种从东非越过红海,传到也门以后,只用 4 年时间传遍埃及、叙利亚、土耳其,造成条锈菌新小种流行<sup>[8]</sup>。

现在的小麦秆锈新小种 Ug99 的传播速度似乎比条锈新小种传播还更快。专家们预计,由于 Ug99 突破了红海这个关键屏障,以后向世界其他地方传播就更容易、其速度可能会更快。目前最直接受到潜在威胁的重要小麦生产国家与地区包括北非地区、印度次大陆等南亚国家、阿富汗、土耳其等西亚国家;中国等东亚国家也面临威胁之中<sup>[7]</sup>。如绿色革命之父、世界小麦抗锈育种专家、诺奖得主、Norman E Borlang 博士指出的那样,Ug99 不需护照,可

随意随着高空气流(不排除非故意人为携带或故意生物恐怖释放的可能)跨国或跨大陆传播,迟早要传遍全世界麦区,非洲、亚洲、欧洲、北美、澳大利亚及南美洲都将不会幸免,一旦流行,将会出现世界灾难性粮荒<sup>[6]</sup>。

## 2 当前各国品种对 Ug99 的脆弱性、病害流行风险和全球控制对策

如上所述,Ug99 不仅使 *Sr31* 抗性丧失,而且还含有对其他多个重要抗秆锈病基因联合毒力。针对 Ug99 的严峻形势,成立了全球锈病研究协作网(Global Rust Initiative,GRI)<sup>[9]</sup>,由 GRI 协调在肯尼亚农业研究所(KARI)、埃塞俄比亚农业研究(EIAR)等地区开展不同国家与地区的品种抗性分析与抗源筛选。现有筛选结果表明:尽管目前有约 10 个抗秆锈基因可以对 Ug99 提供中度以上抗性,但它们在小麦生产品种或重要种质中的分布非常非常低,平均不到 0.3%<sup>[10-11]</sup>。对表现抗性的进一步分析认为:它们大部分都是以 *Sr24* 基因作为抗性基础<sup>[11]</sup>,但很不幸的是,*Sr24* 的抗性也认为可能因 Ug99 毒力进化变得不可依靠<sup>[15]</sup>,这一切现状

都充分表明:目前全球绝大部分小麦品种与种质都处于 Ug99 侵袭的潜在风险中<sup>[4]</sup>。

在这种局势下,Ug99 传播到哪里,秆锈病的流行就可能出现在哪里。如目前出现 Ug99 的肯尼亚等国家或地区,秆锈病都有流行,最严重的小麦损失达到 70%以上,一般农户的小麦损失均在 50%以上。印度是小麦生产的主要国家而且又是面临 Ug99 入侵危险性极大的国家。印度科学家十分担忧地指出:2005 年印度生产小麦 2 160 万 t,如果 Ug99 流行,产量可以减少 50%以上,每年将造成 1 080 万 t 小麦损失<sup>[6]</sup>。据 CIMMYT 专家测算,如果全球小麦收成减少 10%,那就意味着小麦损失 6 000 万 t,经济价值将超过 90 亿美元<sup>[1]</sup>。

Norman, E. Borlaug 博士指出,世界小麦生产者近亿,消费者数十亿,Ug99 流行将是世界性灾难,尤其对非洲等发展中国家和亚洲人口众多的国家,将会造成粮食恐慌<sup>[6]</sup>。

CIMMYT 著名科学家、GRI 总协调人 Rick Ward 指出:“Ug99 的出现相当于一次慢速海啸,震中是发现 Ug99 的中非,产生的破坏波则正在向外蔓延”。N. E. Borlaug 博士还警告说,秆锈病新小种出现流行就像发生森林大火,如不早期扑灭,火烧大了,控制就难了<sup>[1]</sup>。

德高望重的 Norman, E. Borlaug 博士强烈呼吁全球合作,防止 Ug99 可能造成的秆锈病大流行及带来粮食安全问题。要求要像几十年前一样全球政治与财政支持、科学通力合作,完全使秆锈病处于受控之中<sup>[5]</sup>。

在 CIMMYT 和国际干旱地区农业研究中心(ICARDA)以及 FAO 响应下,针对 Gg99 可能出现的大流行,于 2005 年 1 月着手创建并于 3 月正式成立全球锈病协作网(GRI)。GRI 是由 CIMMYT 和 ICARDA 协调的合作研究机构,参加单位为 30 多个国家的农业研究所<sup>[5]</sup>。按照培育抗病品种控制秆锈病最经济有效且环保的原则,以科学和全球合作为武器来战胜秆锈病,在监测(非洲、中东、南亚设侦察圃)探明全球秆锈菌小种毒力变异规律基础上,集中寻找抗病目标基因,加快开展抗病品种选育推广,快速替换现行感病品种<sup>[5]</sup>。

首先,GRI 由美国农部农研司(USDA-ARS)提供资源,在肯尼亚农业研究所(KARI)和埃塞俄比亚

农业研究所(EIAR)进一步加大了小麦抗源筛选。几年前已成功筛选到了抗 Ug99 的品种,但这些品种不仅产量水平低而且农艺性状也很差,不能直接推广应用。所幸的是,已从几个国家得到农艺性好的高产母本品种,并在 CIMMYT 与抗病品种杂交,杂交后代在 KARI 和 EIAR 试验田测定对 Ug99 等小种的抗性,好的品系再拿回 CIMMYT 分析产量与品质,综合指标均优的材料分发到世界其他试验点进行评估。例如在尼泊尔、印度、阿富汗与巴基斯坦等国就共计设了 27 点,已有表现好的材料在点上开展了测定<sup>[4,10]</sup>。

在 2005 年 GRI 成立后不久,其专家组于 5 月 29 日发行了题为“拉响全球秆锈病警报”(Sounding the Alarm on Global Stem Rust)宣传册,专家组发出一致声明 Ug99 是全球小麦生产的严重威胁,提出了 10 点研究建议 and 对策<sup>[8]</sup>。于 2005 年 9 月 9 日在肯尼亚内罗毕秆锈病猖獗流行时刻召开了“全球锈病峰会”(Global Rust Summit),包括 GRI 专家组首席科学家 Ronnie Coffman 博士、N. E. Borlaug 博士等 78 位代表参加了会议,代表 18 个国家,中国农业科学院 1 位专家参加了会议。会议由 ICARDA 和 CIMMYT 两位主任分别主持,会议首日开幕式与专家发言,次日参观秆锈病发生麦田的严重场景。大会取得 6 项成果<sup>[5,9]</sup>。

约 1 年以后,于 2006 年 10 月 9~11 日在埃及 Alexandria 召开了首届 GRI 国际学术研讨会,交流了最新研究成果和研究总结报告<sup>[5,9]</sup>。鉴于 Ug99 传播到也门、苏丹乃至巴基斯坦等国家,提出 2007 年以后整个小麦世界将面临 Ug99 更大威胁与考验,要进一步加大国际合作与研究经费和研究仪器、设施投入,应对 Ug99<sup>[5]</sup>。

目前 GRI 得到的经费支持有美国 USAID 145 万美元/年(其中 100 万美元用于南亚、西亚、中东、北非分子育种);另 USAID 200 万美元其他综合性计划;加拿大 CIDA 43 万美元;印度 ICAR 20 万美元;今后 5 年内其他资助 350 万美元<sup>[5]</sup>。

### 3 Ug99 对我国小麦生产的可能影响

Ug99 在巴基斯坦 Sindh 沿海流行的事件一旦确认,盛行的西风把病菌孢子从巴基斯坦向东推进

入侵我国西北的越夏区(包括该地区生物恐怖活动)的可能性不容忽视。Ug99的毒力基因数比我国所有报道过的小种的主要毒力基因总和还要多。Ug99对我国小麦品种与其具有的超级毒性,比如它对 *Sr5* 和 *Sr9e* 两基因的毒力代表了我国曾出现过的毒力最强的小种40号,对 *Sr5* 或 *Sr5* 结合 *Sr6* 的毒力代表了34小种群,对 *Sr9e* 的毒力代表了116小种,对 *Sr11* 的毒力代表20世纪90年代后发现的21C3CTX(X代表H或P或R)小种群,对 *Sr21* 或 *Sr31* 或 *Sr38* 等的毒力在我国从未被测到<sup>[12-14]</sup>。分析我国曾经最广泛使用的多数抗源品种,主要为洛类麦系,Alondra“S”,阿夫乐尔,高加索以及牛朱特等,它们都含有1BL/1RS易位的染色体片段,其抗性正是Ug99能克服的<sup>[15-17]</sup>。

另外,根据我国118份小麦品种2006年在KARI用Ug99测定的结果表明,测到R与MR品种各1个,两者出现频率总和也不足1.7%,相反,高感品种频率占98.3%<sup>[4]</sup>。虽然上述118份品种多数为长江流域半冬性品种,历来该地品种对秆锈病的抗性总体较差,而北方冬性品种抗性较强,尤其东北春麦品种多为抗性更强的复合抗性品种,可能对Ug99的抗性强一些,但其总的脆弱性不可能明显改变<sup>[15-17]</sup>。

因此,Ug99进入我国,将极可能给我国小麦生产带来不可估量的损失,必须事先提防。除了我国小麦品种普遍感病的因素外,小麦秆锈病适应相对的高温,现在气候变暖使之更加适宜,温暖的冬季会使小麦秆锈病的越冬北限进一步北移,越冬场所扩大,造成病害流行的时间延长、病害严重度与病指都因此会提高、结果是初菌量增加;原来秆锈病发生次要地区病情也会加重。这都为病害的大流行添加了重重砝码。因此,我国一定要对小麦秆锈病的问题重新重视起来,支持相关研究,决不能抱幻想,决不可等到出现严重后果才亡羊补牢。

## 参考文献

- [1] JANET RALOFF. Wheat warning-new rust could spread like wild fire[J/OL]//Science News Online. [2005-09-24]HT-TP://WWW.science.news.org/articles/food.asp.
- [2] PRETORIUS Z A, SINGH R P, WAGORE W W, et al. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda[J]. Plant Diseases, 2000, 84: 203.
- [3] WANYERA R, KINYUA M G, KENYA. The spread of stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with virulence on *Sr31* in wheat in Eastern Africa[J]. Plant Dis, 2006, 90: 113.
- [4] SINGH R P, HODSON D P, JIN Y et al. Current status, likely migrations and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen [R]. CAB Reviews. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 2006, (1) 054: 13.
- [5] GRI. Programmatic Summary, Status Report, and Summary of Outputs of the 1st International Workshop(Alexandria, Egypt[EB/OL][20061009] 9-11, 2006) // http://www.globalrust.org/images/combinedupdate0107.pdf.
- [6] CIMMYT. Dangerous wheat disease jumps Red Sea-devastating fungal pathogen spreads from Eastern Africa to Yemen, following path scientists predicted[EB/OL]. [2007-01-16]. http://hulic.com.
- [7] SEEDQUEST NEWS SECTION. Strain Ug99 of wheat stem rust suspected in Pakistan-first report[EB/OL]. [2005-05-15]. http://www.seedquest.com/news/release/2006/may/5779.htm20050515.
- [8] CIMMYT EXPERT PANEL. Sounding the alarm on global stem rust[EB/OL]. [2006-06-01]. http://www.globalrust.org/documents/SoundingAlarmGlobalRust.pdf.
- [9] SEEDQUEST NEWS SECTION. EL BATÁN, The wheat rust threat-global rust initiative tackles a clearly present danger [J]. CIMMYT E-News, 2006, 3 (10): 17458.
- [10] JIN Y, SINGH R P. Resistance in U S wheat to recent Eastern African isolates of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* with virulence to resistance gene *Sr31*[J]. Plant Disease, 2006, 90: 476-480.
- [11] Debora Mackenzie Billions at risk from wheat super-blight[EB/OL], [2007-04-03]http://environmentnewscientist.com/channel/earth/mg19425983.700-billions-at-risk-from-wheat-superblight.html.
- [12] 姚平, 曹远银. 全国小麦秆锈菌生理小种群动态分析(1991-1994)[J]. 植物保护学报, 1997, 24(4): 297-302.
- [13] 曹远银, 孙梅. 小麦秆锈菌新致病小种21C3CTR致病谱分析[J]. 沈阳农业大学学报, 1996, 27(1): 26-30.
- [14] 姚平, 曹远银, 张书绅, 等. 小麦秆锈菌新小种21C3CTR的发现[J]. 中国农业科学, 1995, 28(1): 87.
- [15] 曹远银, 姚平, 黄振涛, 等. 小麦秆锈菌不同小种间竞争能力的研究[J]. 植物保护学报, 1996, 23(1): 45-50.
- [16] 朱桂清, 朱庆顺. 小麦抗秆锈病基因推导的计算机程序及应用[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(3): 205-209.
- [17] 曹远银, 姚平, 朱桂清, 等. 中国小麦生产品种抗秆锈病基因推导[J]. 中国农业科学, 1996, 29(6): 89-91.