

DON 毒素在小麦赤霉病抗感品种麦穗组织中的积累分析

徐 飞, 杨共强, 王俊美, 宋玉立*, 田怀芹

(河南省农业科学院植物保护研究所, 农业部华北南部作物有害生物综合治理重点实验室, 郑州 450002)

摘要 本研究采用单小花滴注和喷雾接种方法对 3 个抗病品种(‘望水白’、‘苏麦 3 号’、‘扬麦 16’)和 3 个感病品种(‘周麦 18’、‘矮抗 58’、‘豫保 1 号’)的赤霉病抗性进行分析, 并用 ELISA 测定了籽粒、颖壳和穗轴中的 DON 毒素水平。结果表明: 两种方法接种后第 20 天, 除‘望水白’外, 抗病品种的病级日扩展速率和病小穗率都显著低于感病品种($P < 0.05$); 单小花滴注接种条件下, 除‘周麦 18’的籽粒和‘矮抗 58’的穗轴外, 抗病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量显著低于感病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量($P < 0.05$); 而喷雾接种条件下, 抗病品种与感病品种的籽粒、颖壳中的 DON 毒素含量差异不显著, 而穗轴中的 DON 毒素含量差异显著($P < 0.05$)。除个别情况外, 6 个品种中, 籽粒中 DON 毒素水平 < 颖壳中 DON 毒素水平 < 穗轴中 DON 毒素水平($P < 0.05$)。

关键词 脱氧雪腐镰刀菌烯醇; 小麦品种; 赤霉病

中图分类号: S 435.121 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.01.022

Concentrations of deoxynivalenol in various tissues of wheat heads in resistant and susceptible varieties

Xu Fei, Yang Gongqiang, Wang Junmei, Song Yuli, Tian Huaiqin

(Institute of Plant Protection, Henan Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Integrated Pest Management of the Southern of North China, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The FHB resistance of three resistant and three susceptible varieties were investigated by single flower drip inoculation and spray inoculation under field conditions, and ELISA was applied to evaluate the concentration of deoxynivalenol in various tissues of wheat heads. The results showed that daily spreading rate of disease degree and percentage of infected spikelets in resistant varieties were obviously lower than those in susceptible ones ($P < 0.05$), except ‘Wangshuibai’. DON levels of kernels, chaff and rachis in resistant varieties were also obviously lower than that in susceptible ones ($P < 0.05$) by single flower drip inoculation, except kernels in ‘Zhoumai 18’ and rachis in ‘Aikang 58’. But there was no significant difference in DON levels in kernels and chaff among resistant and susceptible varieties by spray inoculation, except for rachis ($P < 0.05$). The concentration of DON was highest in the rachis, followed by chaff, and then kernels ($P < 0.05$).

Key words deoxynivalenol; wheat cultivar; *Fusarium* head blight

小麦赤霉病(*Fusarium* head blight, FHB)是由禾谷镰刀菌(*Fusarium graminearum* Schwabe)引起的小麦上的重要真菌病害, 在北美洲、欧洲和亚洲广泛流行^[1]。我国 19 世纪中后期, 小麦赤霉病在长江中下游麦区和东北春麦区普遍发生, 在黄淮海麦区和北方冬春麦区仅零星发生。其中黄淮海麦区是

我国冬小麦主要种植区^[2]。但近年来, 小麦赤霉病在黄淮海麦区也流行成灾。小麦赤霉病不仅使小麦产量损失 10%~50%, 而且病菌产生真菌毒素污染籽粒, 危害人畜健康^[2]。脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)是禾谷镰刀菌产生的一种主要毒素, 也称呕吐毒素。培育和利用抗赤霉病和 DON 毒素积累的

收稿日期: 2014-12-16 修订日期: 2015-01-29

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303016); “十二五”国家科技支撑计划(2011BAD16B07); 河南省小麦产业技术体系(S2010-01-05)

* 通信作者 E-mail: songyuli2000@126.com

品种是防治小麦赤霉病、减轻 DON 毒素危害最为经济、有效和安全的措施^[2]。

小麦对赤霉病的抗性包括抗侵染、抗扩展、抗 DON 毒素积累和抗籽粒侵染。‘望水白’、‘苏麦 3 号’和‘扬麦 16’是小麦抗赤霉病育种中常用的抗源材料^[3]。前人对其抗侵染和抗扩展能力的研究较多^[4]，对发病籽粒中 DON 积累水平也有报道^[5]，但是对麦穗组织抗 DON 积累能力了解较少。本研究旨在明确小麦赤霉病抗性品种和感病品种在两种接种方法下籽粒、颖壳以及穗轴中 DON 毒素积累水平，以及 DON 毒素水平与病程曲线下的面积(AUDPC)和病粒率之间的关系，为病害控制提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试小麦品种共 6 个，其中 3 个抗病品种：‘望水白’、‘苏麦 3 号’和‘扬麦 16’；3 个感病品种：‘周麦 18’、‘矮抗 58’和‘豫保 1 号’。均由河南省农业科学院植物保护研究所小麦病害研究组提供。

供试菌株：6 株禾谷镰刀菌菌株(FX3-1-4、FX3-2-6、FX4-2-3、FX4-3-4、JZ2-1-4 和 XH1-3-11)由本研究组提供，并于前期工作中鉴定出其毒素化学型均为 15ADON，菌株从田间的小麦赤霉病病穗上分离并进行单孢纯化，PDA 试管保存于 4℃ 的冰箱中。

1.2 方法

1.2.1 田间种植

于 2012 年 10 月在河南省焦作市温县黄庄镇西虢村金地种业有限公司种植基地将供试 6 个小麦品种分别播种，每品种 5 行，行长 1.0 m，行距 0.3 m，每行播 10 g，按常规措施进行田间管理。

1.2.2 禾谷镰刀菌混合分生孢子悬浮液的制备

将 4℃ 保存的禾谷镰刀菌菌株在新鲜的 PDA 平板上活化，25℃ 黑暗条件下培养 3 d，打取 10 块(5 mm)边缘菌丝块转接到 150 mL 的羧甲基纤维素酯液体培养基(CMC)中，置于恒温摇床上，25℃ 150 r/min 摇培 5 d，每个菌株 2 瓶(培养基用量 150 mL/瓶)。分别将供试菌株的分生孢子悬浮液用双重纱布过滤，用血球计数板计数，用无菌水调整分生孢子浓度为 5×10^5 个/mL 用于田间接种，然后将 6 个菌株的分生孢子悬浮液等体积混合。单小花滴注接种和喷雾接种使用的分生孢子悬浮液浓度分别为 5×10^5 个/mL 和 5×10^4 个/mL。

1.2.3 田间接种和病害调查

于小麦扬花初期(2013 年 5 月 3 日)，分别采用单小花滴注法和喷雾法接种。单小花滴注法采用剪刀剪去麦穗中部小穗的内外颖壳顶部少许，滴入 20 μ L 镰刀菌分生孢子悬浮液，每个麦穗接种 1 个小穗，每个品种接种 15 穗，5 穗为 1 组，分别套透明塑料袋保湿并记录接种后的天气情况，3 d 后去掉保湿袋，于接种后第 10 天和第 20 天，参照徐雍皋等^[6]的方法记录每穗的病级，计算各品种的病级日扩展速率和 AUDPC：

$$\text{病级日扩展速率} = \frac{\text{接种 } x \text{ 天的病情级别}}{x};$$

$$\text{AUDPC} = \frac{y_{10} + y_{20}}{2} \times 10$$

式中， y_{10} 和 y_{20} 分别表示接种后第 10 天和第 20 天的病级。

喷雾法接种采用禾谷镰刀菌分生孢子悬浮液喷雾，每平方米喷雾 50 mL，每个品种接种 15 穗，5 穗为 1 组，分别套透明塑料袋保湿，于接种后第 10 天和第 20 天记录每穗的病小穗数和总小穗数，并计算病小穗率和 AUDPC：

$$\text{病小穗率}(\%) = \frac{\text{病小穗数}}{\text{总小穗数}} \times 100;$$

$$\text{AUDPC} = \frac{y_{10} + y_{20}}{2} \times 10;$$

式中， y_{10} 和 y_{20} 分别表示接种后第 10 天和第 20 天的病小穗率。

小麦成熟后，将两个接种方法每个处理的病穗分别装入网袋，晾干后 4℃ 冰箱中保存。进行麦穗组织的 DON 毒素含量测定前剥出病穗中小麦籽粒，并记录病粒数和总粒数，计算病粒率：

$$\text{病粒率}(\%) = \frac{\text{病粒数}}{\text{总粒数}} \times 100。$$

1.2.4 DON 毒素含量的测定和分析方法

将不同接种方法接种后收获的病穗中小麦籽粒剥出，在微型植物粉碎机中按籽粒、颖壳、穗轴分别研磨，过 20 目筛后装入不同的自封袋中备用。每个样品粉碎后，严格清理粉碎机以避免相互污染。称取样品粉末置于 50 mL 离心管中，加入 5 倍质量的蒸馏水，用力振荡 3 min 并使用 Whatman No. 1 滤纸过滤，收集滤液，然后稀释 10、100、1 000 和 10 000 倍备用。

使用 RIDASCREEN® DON 酶联免疫法呕吐毒

素定量检测试剂盒 (R-Biopharm, 购于北京科明雷德科技有限公司) 检测样品中 DON 毒素, 操作步骤按照 ELISA 试剂盒说明书进行。标准样品浓度为 0、3.7、11.1、33.3、100 $\mu\text{g/L}$ 。在酶标仪上同时测定标准样品和待测样品在 450 nm 处的吸光度, 每个样品测定 3 次重复。当滤液中 DON 毒素浓度过大或者过小而超出检测范围时, 使用其不同倍数的稀释液。

使用 R-Biopharm (德国拜发公司) 的应用软件 RIDA® SOFT Win (Z9999) 进行结果评估。并按照单次检测的 Logit/log 曲线进行分析, 然后计算 3 次检测结果的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种 (系) 对赤霉病的抗性

单小花滴注接种谷镰刀菌后第 10 天和第 20 天, 3 个抗性品种的平均病级日扩展速率为 0.09 和 0.22, 3 个感病品种的平均病级日扩展速率为 0.18

和 0.36, 除‘望水白’外, 抗病品种与感病品种的病级日扩展速率和 AUDPC 都有显著差异 ($P<0.05$) (表 1)。喷雾接种后第 10 天和第 20 天, 3 个抗性品种的平均病小穗率为 14.35% 和 29.23%, 3 个感病品种的平均病小穗率为 32.52% 和 77.33%, 接种 10 d 后, 抗病品种和感病品种的病小穗率差异不显著; 接种 20 d 后, 除‘望水白’外, 抗病品种与感病品种的病小穗率和 AUDPC 都有显著差异 ($P<0.05$) (表 2)。单小花滴注接种后, 3 个抗性品种的平均病粒率为 9.98%, 3 个感病品种的平均病粒率为 23.91%, 3 个抗性品种的病粒率显著低于感病品种‘矮抗 58’的病粒率 ($P<0.05$), 而与感病品种‘周麦 18’和‘豫保 1 号’的病粒率差异不显著 (表 1)。喷雾接种后, 3 个抗性品种的平均病粒率为 8.11%, 3 个感病品种的平均病粒率为 30.49%, 除‘望水白’外, 抗性品种的病粒率显著低于感病品种的病粒率 ($P<0.05$) (表 2)。

表 1 单小花滴注接种后不同小麦品种赤霉病抗性指标和麦穗组织中 DON 毒素水平¹⁾
Table 1 *Fusarium* head blight (FHB) resistance indexes and deoxynivalenol (DON) levels of selected wheat cultivars based on the single-spikelet drip inoculation

品种 Cultivar	脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量/mg · kg ⁻¹ DON concentration						日扩展速率 Daily spreading rate	AUDPC	病粒率/% PSK
	籽粒 Kernel	颖壳 Chaff	穗轴 Rachis	DON concentration					
				10 d	20 d				
望水白 Wangshuibai	0.84 bC	10.10 eB	34.69 cA			0.16 a	0.29 b	2.23 b	6.94 c
苏麦 3 号 Sumai 3	2.75 bC	19.37 dB	36.15 cA			0.07 b	0.17 c	1.18 c	17.94 bc
扬麦 16 Yangmai 16	1.19 bC	6.20 fB	36.50 cA			0.05 b	0.19 c	1.19 c	5.06 c
周麦 18 Zhoumai 18	17.44 abC	57.33 aB	110.20 aA			0.16 a	0.33 ab	2.46 ab	21.68 ab
矮抗 58 Aikang 58	22.42 aB	32.01 cA	17.31 dC			0.20 a	0.35 a	2.72 ab	33.15 a
豫保 1 号 Yubao 1	26.56 aB	36.50 bB	73.10 bA			0.19 a	0.39 a	2.90 a	16.90 bc
LSD (<i>P</i> ≤0.05)	17.30	1.79	7.41			0.08	0.06	0.51	14.64

1) 表中同列数据后具有相同小写字母表示不同小麦品种所测指标差异不显著 ($P>0.05$), 同行数据后具有不同大写字母表示同一小麦品种的不同组织间的指标差异显著 ($P<0.05$)。AUDPC 表示病程曲线下的面积。病粒率表示发病籽粒占总粒数的比例。下同。
The same lowercase letters in the same columns indicate no significant difference ($P>0.05$) according to Fisher's Protected Least Significant Difference Test. Different uppercase letters in the same row indicate significant difference between tissues of the same cultivar. AUD-PC is the area under FHB progress curve. PSK is the percentage of scabbed kernels. The same below.

表 2 喷雾接种后不同小麦品种赤霉病抗性指标和麦穗组织中 DON 毒素水平
Table 2 *Fusarium* head blight (FHB) resistance indexes and deoxynivalenol (DON) levels of selected wheat cultivars based on spray inoculation

品种 Cultivar	脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量/mg · kg ⁻¹ DON concentration						病小穗率/% Infected spikelets rate		AUDPC	病粒率/% PSK
	籽粒 Kernel	颖壳 Chaff	穗轴 Rachis	10 d	20 d					
望水白 Wangshuibai	3.69 bcC	17.48 bcA	10.38 deB	18.85 bc	57.50 b	3.82 b	11.36 bc			
苏麦 3 号 Sumai 3	0.54 cC	1.50 cB	5.60 eA	21.19 abc	23.20 c	2.22 c	6.54 c			
扬麦 16 Yangmai 16	1.54 bcC	5.09 bcB	21.80 dA	3.01 c	7.00 d	0.5 d	6.42 c			
周麦 18 Zhoumai 18	25.22 aC	121.47 aB	238.70 aA	35.61 a	85.00 a	6.03 a	25.14 b			
矮抗 58 Aikang 58	2.85 bcC	31.66 bB	141.50 bA	28.56 ab	62.00 b	4.53 b	43.29 a			
豫保 1 号 Yubao 1	19.55 abC	32.92 bB	85.39 cA	33.38 ab	85.00 a	5.92 a	23.03 b			
LSD (<i>P</i> ≤0.05)	18.42	28.61	12.20	14.89	19.83	1.32	13.77			

2.2 不同抗感小麦品种(系)籽粒、颖壳、穗轴中 DON 毒素含量

单小花滴注接种后,3 个抗性品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量平均值分别为 1.59、11.89、35.78 mg/kg,3 个感病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量平均值分别为 22.14、41.95、66.87 mg/kg(表 1)。抗病品种籽粒中 DON 毒素含量显著低于除‘周麦 18’外其他 2 个感病品种籽粒中 DON 毒素含量($P < 0.05$);抗病品种颖壳中 DON 毒素含量显著低于感病品种颖壳中 DON 毒素含量($P < 0.05$);抗病品种穗轴中 DON 毒素含量显著低于除‘矮抗 58’外其他 2 个感病品种穗轴中 DON 毒素含量($P < 0.05$)。

喷雾接种后,3 个抗性品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量平均值分别为 1.92、8.02、12.59 mg/kg,3 个感病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量平均值分别为 15.87、62.02、155.20 mg/kg(表 2)。3 个抗病品种与 3 个感病品种的籽粒、颖壳中的 DON 毒素含量差异不显著,而穗轴中的 DON 毒素含量差异显著($P < 0.05$)。

另外,除喷雾接种后的‘望水白’、单小花滴注接种后的‘矮抗 58’和‘豫保 1 号’外,抗性品种和感病品种籽粒中 DON 毒素含量<颖壳中 DON 毒素含量<穗轴中 DON 毒素含量($P < 0.05$)(表 1~2)。

2.3 DON 毒素水平与 AUDPC、病粒率间的关系

单小花滴注接种后,籽粒的 DON 含量与 AUDPC 的相关性系数为 0.84($P < 0.05$),呈显著正相关,与病粒率不相关($P > 0.05$);穗轴和颖壳中 DON 含量与 AUDPC 和病粒率不相关($P > 0.05$)。喷雾接种条件下,籽粒、颖壳和穗轴中的 DON 含量与 AUDPC 和病粒率不相关($P > 0.05$)。

3 讨论

本研究评价了单小花滴注和喷雾法两种接种方法下,3 个抗病品种和 3 个感病品种对赤霉病的抗性,并测定了麦穗不同组织中的 DON 含量,结果表明:(1)两种方法接种后第 20 天,除‘望水白’外,抗病品种的病级日扩展速率和病小穗率都显著低于感病品种($P < 0.05$),此结果与封薇等^[5]报道的小麦品种抗病性与赤霉病发病程度有明显的正相关的结论相同。其中‘望水白’在本试验中的病级日扩展速率和病小穗率与感病品种没有显著性

差异,与前人研究结果不相同^[5,7],原因可能是与试验所用菌株、接种物浓度和接种后气候条件不一样造成。(2)单小花滴注接种后,除‘周麦 18’的籽粒和‘矮抗 58’的穗轴外,抗病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量显著低于感病品种的籽粒、颖壳、穗轴中的 DON 毒素含量($P < 0.05$),其中籽粒中 DON 含量与 AUDPC 呈显著正相关,此结果与徐飞等^[8]的研究结果相同。但是喷雾接种后,抗病品种与感病品种的籽粒、颖壳中的 DON 毒素含量差异不显著,而穗轴中的 DON 毒素含量差异显著($P < 0.05$)。结果说明小麦品种的抗 DON 毒素积累能力受到不同接种方法的影响。(3)‘苏麦 3 号’抗扩展能力最强,作为亲本使用最为广泛^[9];‘望水白’与‘苏麦 3 号’赤霉病抗性和抗 DON 积累能力没有显著差异($P > 0.05$),但是‘望水白’作为亲本,后代农艺性状差,所以至今还未育出大面积生产应用的抗赤霉病的小麦新品种。‘扬麦 16’抗扩展能力与‘苏麦 3 号’相当,在喷雾接种后 10 d 和 20 d 的病小穗率以及 AUDPC 最低(表 2),抗病性较强,且农艺性状好,可以作为抗侵染和抗 DON 毒素积累的抗源材料。

另外,本研究表明:除喷雾接种条件下的‘望水白’、单小花滴注接种条件下的‘矮抗 58’和‘豫保 1 号’外,穗轴中 DON 毒素水平>颖壳中 DON 毒素水平>籽粒中 DON 毒素水平($P < 0.05$),两种接种方法结果一致,与 Sinha 等^[10]对自然发病病穗的研究结果相同。

籽粒中的 DON 毒素积累少有两个原因:(1)籽粒形成过程中小麦植株产生降解 DON 的酶类;(2)在籽粒形成过程中,DON 毒素转移至籽粒的效率低^[3]。因此要研究不同小麦品种抗 DON 积累的原因,需要从上述两个方面进行分析,并选择合适的接种方法。

参考文献

- [1] Bai Guihua, Shaner G. Scab of wheat: prospects for control [J]. Plant Disease, 1994, 78(8):760-766.
- [2] 陆维忠,程顺和,王裕中. 小麦赤霉病研究[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [3] Bai Guihua, Shaner G. Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* head blight [J]. Annual Review of Phytopathology, 2004, 42: 135-161.

- of *Cabbage mosaic virus* by *Myzus persicae* [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1964, 57: 538–544.
- [7] Dohm D J, O'Guinn M L, Turell M J. Effect of environmental temperature on the ability of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) to transmit *West Nile virus* [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2002, 39: 221–225.
- [8] 曹杨, 潘峰, 周倩, 等. 南方水稻黑条矮缩病毒介体昆虫白背飞虱的传毒特性[J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(5): 1314–1320.
- [9] Argüello Caro E B, Maroniche G A, Dumón A D, et al. High viral load in the planthopper vector *Delphacodes kuscheli* (Hemiptera: Delphacidae) is associated with successful transmission of *Mal de Río Cuarto virus* [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2013, 106(1): 93–99.
- [10] 曹杨, 李有志. 探讨不同因素对白背飞虱在稻苗间传播南方水稻黑条矮缩病毒效率的影响[J]. *湖南文理学院学报(自然科学版)*, 2014, 26(1): 30–37.
- [11] 刘琳琳. 24 个水稻品种对南方水稻黑条矮缩病的抗性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [12] 邓伟, 胡兰香, 陈红萍, 等. 水稻抗白背飞虱研究进展[J]. *江西农业学报*, 2012, 24(1): 91–97.
- [13] 叶海芳. 水稻叶鞘表皮结构对白背飞虱抗性的研究[J]. *西南农业大学学报*, 1989, 11(2): 150–154.
- [14] 黄次伟, 冯炳灿. 水稻白背飞虱、褐飞虱取食动态研究[J]. *昆虫学报*, 1993, 36(2): 251–255.
- [15] 雷文斌. 南方水稻黑条矮缩病毒对其介体昆虫发育、繁殖和取食行为的影响[D]. 北京: 中国农业科学院植物保护研究所, 2014.
- [16] Todd J C, Ammar El-D, Redinbaugh M G, et al. Plant host range and leafhopper transmission of *Maize fine streak virus* [J]. *Phytopathology*, 2010, 100(11): 1138–1145.
- [17] van de Wetering F, Goldbach R, Peters D. *Tomato spotted wilt tospovirus* injection by first instar larvae of *Frankliniella occidentalis* is a prerequisite for transmission [J]. *Phytopathology*, 1996, 86(9): 900–905.
- [18] Wang Qiang, Yang Jian, Zhou Guohui, et al. The complete genome sequence of two isolates of *Southern rice black-streaked dwarf virus*, a new member of the genus *Fijivirus* [J]. *Journal of Phytopathology*, 2010, 158: 733–737.
- [19] Lei Wenbin, Liu Danfeng, Li Pei, et al. Interactive effects of *Southern rice black-streaked dwarf virus* infection of host plant and vector on performance of the vector, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107(5): 1721–1727.
- [20] Lucio-Zavaleta E, Smith D M, Gray S M. Variation in transmission efficiency among *Barley yellow dwarf virus*-RMV isolates and clones of the normally inefficient aphid vector, *Rhopalosiphum padi* [J]. *Phytopathology*, 2001, 91(8): 792–796.
- [21] Anhalt M D, Almeida R P P. Effect of temperature, vector life stage and plant access period on transmission of *Banana bunchy top virus* to banana [J]. *Phytopathology*, 2008, 98(6): 743–748.
- [22] Wu R Y, Su H J. Transmission of *Banana bunchy top virus* by aphids to banana plantlets from tissue culture [J]. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 1990, 31(1): 7–10.
- [23] 沈君辉, 尚金梅, 刘光杰. 中国的白背飞虱研究概况[J]. *中国水稻科学*, 2003, 17(S1): 7–22.
- [24] 黄次伟, 冯炳灿. 水稻生育期对白背飞虱种群增大的影响[J]. *浙江农业学报*, 1991, 3(1): 9–13.
- [25] He Peng, Liu Jiaju, He Ming, et al. Quantitative detection of relative expression levels of the whole genome of *Southern rice black-streaked dwarf virus* and its replication in different hosts [J]. *Virology Journal*, 2013, 10: 136–144.
- [26] Jia Dongsheng, Chen Hongyan, Mao Qianzhuo, et al. Restriction of viral dissemination from the midgut determines incompetence of small brown planthopper as a vector of *Southern rice black-streaked dwarf virus* [J]. *Virus Research*, 2012, 167(2): 404–408.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 128 页)

- [4] 王裕中, 杨新宁, 肖庆璞. 小麦赤霉病抗性鉴定技术的改进及其抗源的开拓[J]. *中国农业科学*, 1982(5): 67–77.
- [5] 封薇, 刘太国, 张敏, 等. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)在小麦籽粒中的积累分析[J]. *植物病理学报*, 2012, 42(1): 25–31.
- [6] 徐雍皋, 方中达. 玉蜀黍赤霉对小麦品种致病力的测定方法和致病力的分化[J]. *植物病理学报*, 1982, 12(4): 53–57.
- [7] 陈怀谷, 蔡志祥, 陈飞, 等. 不同小麦品种抗赤霉病性类型和抗毒素积累能力分析[J]. *植物保护学报*, 2007, 34(1): 32–36.
- [8] 徐飞, 杨共强, 宋玉立, 等. 不同小麦品种(系)对赤霉病的抗性
- 性和麦穗组织中 DON 毒素积累分析[J]. *植物病理学报*, 2014, 44(6): 651–657.
- [9] He Xinyao, Singh P K, Duveiller E, et al. Identification and characterization of international *Fusarium* head blight screening nurseries of wheat at CIMMYT, Mexico [J]. *European Journal of Plant Pathology*. 2013, 136(1): 123–134.
- [10] Sinha R C, Savard M E. Concentration of deoxynivalenol in single kernel and various tissues of wheat heads [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 1997, 19(1): 8–12.

(责任编辑: 杨明丽)