

高效、准确的玉米粗缩病人工接种鉴定技术

张爱红 邸垫平 张晓芳 路银贵 田兰芝 苗洪芹*

(河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 农业部
华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 为建立高效、准确的玉米粗缩病人工接种鉴定技术, 通过将玉米人工接种水稻黑条矮缩病毒 (*Rice black-streaked dwarf virus*, RBSDV), 研究了温度对 RBSDV 在灰飞虱体内循环期的影响以及玉米接种苗龄、接种强度及接种时间对人工接种鉴定效果的影响。结果表明: 病毒在灰飞虱体内的循环期随温度升高而缩短, 在平均温度分别为 18.50、23.50、27.50 °C 时, 循环期分别为 36.27、21.76、16.38 d; 在玉米芽鞘期至 2 叶 1 心期接种, 接种强度每苗为 7~10 头虫, 接种时间 72~96 h 条件下, 鉴定效果优于其它处理; 感病对照郑单 958、掖 107、掖 478 发病充分, 病情指数为 97.70%~100.00%。用已知抗性水平的玉米自交系和杂交种进行验证, 鉴定结果表明该人工接种鉴定技术可客观反映供试玉米材料的实际抗性水平。

关键词: 玉米粗缩病; 水稻黑条矮缩病毒; 人工接种; 鉴定

Efficient and accurate artificial inoculation technique of *Rice black-streaked dwarf virus* to maize

Zhang Aihong Di Dianping Zhang Xiaofang Lu Yingui Tian Lanzhi Miao Hongqin*

(Integrated Pest Management Center of Hebei Province; Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in
Northern Region of North China, Ministry of Agriculture; Plant Protection Institute of Hebei Academy of
Agricultural and Forestry Sciences, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: In order to develop an effective method for artificial inoculation identification of resistance to *Rice black-streaked dwarf virus* (RBSDV) in maize materials, four factors including circulative period in the vector *Laodelphax striatellus*, inoculation stages of the seedlings, inoculation intensity and inoculation time were evaluated in this study. The results revealed that the virus circulative period in the vector decreased as temperature increased. Under the average temperatures of 18.50, 23.50 and 27.50 °C, the circulative periods were 36.27, 21.76 and 16.38 d, respectively. When inoculated during coleoptile and 2-leaf stages by 7–10 viruliferous insects per seedling for 72–96 h, the efficiency was better than other treatments. Under these conditions, inoculated susceptible maize hybrid ‘Zhengdan 958’ and maize inbred lines of ‘Ye 107’ and ‘Ye 478’ plants showed 97.70%–100.00% RBSDV infection. This technique was verified by inoculating 15 maize inbred lines and 5 hybrids with known resistance levels. The verification results proved that this artificial inoculation identification technique could reflect the RBSDV resistance levels of maize materials.

Key words: maize rough dwarf disease; *Rice black-streaked dwarf virus*; artificial inoculation method; identification

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003031), 转基因生物新品种培育科技重大专项(2011ZX08003-001), 河北省农林科学院青年基金(A2012120104)

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: miao5058345@163.com, Tel: 0312–5915683

收稿日期: 2014–01–14

玉米粗缩病(maize rough dwarf disease, MRDD)是严重影响玉米产量的重要病毒病害,该病害于上世纪 70 年代在河北省首次发现,多次在中国暴发流行,可造成玉米减产 50%,甚至绝收(陈巽祯等, 1986)。近年来,由于缺乏抗病品种、农户分散种植、麦田套种面积较大、田间传毒媒介数量较大等原因,致使玉米粗缩病反复猖獗危害,成为制约玉米高产稳产的重要因素(邸垫平等,2002)。

玉米粗缩病的典型症状为植株矮缩,叶色浓绿,叶背面出现蜡白色短条状突起,后期突起变褐色,籽粒较少或者不结籽粒(陈巽祯等, 1986; 邸垫平等, 2002)。研究证实,引起中国玉米粗缩病的病原为水稻黑条矮缩病毒(*Rice black-streaked dwarf virus*, RBSVDV),并非之前报道的玉米粗缩病毒(*Maize rough dwarf virus*, MRDV)(陈声祥和张巧艳, 2005)。RBSVDV 主要由昆虫灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 以持久性方式传播,不能种传或机械传毒。带毒灰飞虱一经获毒可终身传毒,但不能经卵传递(Li et al., 2011)。

高效防控玉米粗缩病是目前玉米生产上亟待解决的问题。防治玉米粗缩病一般采用喷施杀虫剂以压低虫源、错期播种以避开灰飞虱迁飞盛期及清除田间杂草以减少灰飞虱寄主等方法(苗洪芹等, 2005a)。虽然能取得一些防治效果,但不能从根本上防治玉米粗缩病。选用抗病品种防治玉米粗缩病是最经济有效的措施。目前玉米育种及抗粗缩病鉴定主要依靠田间鉴定(陈永坤等, 2006; 杨兴飞等, 2010; 薛林等, 2011),该方法易受田间毒源压力、灰飞虱虫口数量等因素的影响(田兰芝等, 2004),导致在不同地域间和年度间的鉴定结果可比性与准确性差。田间鉴定的不确定性使得选育抗病品种往往需要多年、多地的重复鉴定结果,因此极大延长了抗粗缩病育种的进程。由于介体传播是玉米粗缩病唯一的传播途径,因此利用传播介体灰飞虱进行科学、准确的玉米粗缩病人工接种鉴定成为加快抗病育种进程的关键。本课题组 2005 年报道 1 头带毒灰飞虱即可传毒,使玉米发病,并有一定的传毒效果,网箱集团接种结合移栽可实现规模化大批量的人工接种(邸垫平等, 2005)。本试验在已有研究的基础上,从温度、接种龄期、接种强度和接种时间 4 个方面研究了玉米粗缩病人工接种鉴定的最佳条件,以期为玉米抗粗缩病的选育提供切实可行的鉴定技术,加快抗粗缩病育种进程。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种:小麦石新 828、玉米郑单 958,均购自种子市场,保存于 C-Z 系列种子低温储藏柜(杭州托普仪器有限公司制造)中。

供试昆虫:2012 年 4 月份用扣虫网采集麦田灰飞虱,饲养于小麦苗上。待成虫产卵、1 龄若虫孵化后,收集孵化幼虫,转至新鲜小麦苗上继续饲养。在温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70 \pm 5)\%$ 、L:D = 14 h:10 h 的温室内继续扩大繁殖,以此获得无毒灰飞虱群体。

RBSVDV 毒源的繁殖:玉米拔节前,采集田间具有植株矮化、叶色深绿、叶片背面有蜡白色突起等明显 RBSVDV 侵染症状的玉米植株,移栽至温室,作为初始毒源,并用其饲喂 2~3 龄无毒灰飞虱。4 d 后,将灰飞虱取出,转移至健康小麦饲料上,每 7 天更换 1 次小麦饲料,待灰飞虱能够传毒(循环期)后,将 RBSVDV 传毒至小麦。待小麦表现植株矮缩、叶色浓绿、心叶有缺刻及分蘖增多等症状后,作为人工接种毒源。

1.2 方法

1.2.1 不同温度对 RBSVDV 在灰飞虱体内循环期的影响

取 2~3 龄无毒灰飞虱若虫 200~300 头,在感染 RBSVDV 的小麦毒源植株上饲毒 3 d 后,单虫单苗接种于芽鞘期健康玉米。接种平均温度设 18.50、23.50 和 27.50 $^\circ\text{C}$ 三个处理,每天换苗 1 次直至灰飞虱死亡。将换下的玉米苗按虫号顺序移栽于防虫网室内,自接种后第 5 天开始,每天调查粗缩病发病情况,记录每株最早显症时间,试验重复 3 次。

1.2.2 不同因子对鉴定效果的影响

接种苗龄:将玉米种子播种于装有蛭石与营养土 1:1 混配土的塑料盒中,用 40 目网纱制成防虫纱罩。取带毒灰飞虱接种于芽鞘期、2 叶 1 心、4 叶 1 心、8 叶 1 心和 12 叶 1 心期玉米苗上,每个处理 100 株。接种前将灰飞虱饥饿处理 6 h,接种虫量 5 头/苗。每天定时惊扰灰飞虱 2 次。接种 4 d 后,将接种株移栽至防虫网室,30 d 后调查发病率,成株期按玉米粗缩病 0~4 级的分级标准调查病情严重度(苗洪芹等, 2005b),并计算病情指数。玉米粗缩病病情严重度分级标准:0 级:健株;1 级:株高为健株株高的 4/5 左右,仅上部几个叶片叶背面有蜡白条突起;2 级:株高为健株株高的 2/3 左右,整株显症;3 级:株高为健株株高的 1/2 左右,整株显症;4 级:株高为健株株高的 1/3 以下,整株显症或提早枯死。

玉米粗缩病病情指数计算公式: 病情指数 = 病级与相应各级别出现个数的乘积之和/最高病级 × 调查总株数 × 100。抗性评价标准: 病情指数分为 0 ~ 3.0、3.1 ~ 10.0、10.1 ~ 20.0、20.1 ~ 40.0、40.1 ~ 100 共 5 个标准, 相对应的抗性水平依次为高抗 (highly resistant, HR)、抗病 (resistant, R)、中抗 (moderately resistant, MR)、感病 (susceptible, S) 和高感 (highly susceptible, HS)。

接种强度: 将带毒灰飞虱接种于 2 叶 1 心期玉米幼苗上, 接种方法同 1.2.2。接种虫量分别设每苗 1、5、7 和 10 头, 每个处理 100 株。接种 4 d 后, 将接种株移栽至防虫网室, 进行症状观察、调查玉米粗缩病发病率, 调查方法同 1.2.2。

接种时间: 将带毒灰飞虱接种于 2 叶 1 心期玉米幼苗上, 接种方法同 1.2.2。接种时间设 24、48、72 和 96 h 共 4 个处理, 每个处理 100 株。接种完成后, 将接种株移栽至防虫网室, 调查玉米粗缩病发病率, 调查方法同 1.2.2。

1.2.3 人工接种鉴定技术的验证

应用所建立人工接种鉴定技术对来自中国农业

科学院作物研究所、石家庄农业科学院和河北省农林科学院作物研究所田间鉴定已知抗性水平的 15 份自交系材料 (X178、90110、沈 137、P138、齐 319、9138、87-1、综 31、丹 360、Mo17、黄野四、K12、5003、掖 478、掖 107) 和 5 个杂交种 (郑单 958、浚单 20、先玉 335、青农 105、农大 108) (田兰芝等, 2004; 路银贵等, 2007; 薛林等, 2011) 进行人工接种鉴定, 鉴定条件为: 平均温度 23.5 °C 环境中, RBSDV 在灰飞虱体内度过 28 d 循环期后, 5 头/苗接种于芽鞘期玉米, 接种 96 h, 接种后处理及调查方法同上。

1.3 数据分析

采用 SPSS 16.0 软件处理数据, Duncan 氏新复极差法对试验结果进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同温度对 RBSDV 在灰飞虱体内循环期的影响

不同温度条件下, RBSDV 在灰飞虱体内循环期随温度升高而缩短, 各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。当平均温度分别为 18.50、23.50 和 27.50 °C 时, 循环期分别为 36.27、21.76 和 16.38 d (表 1)。

表 1 不同温度条件下 RBSDV 在灰飞虱体内循环期测定

Table 1 The circulative period of RBSDV in *Laodelphax striatellus* under different temperatures

平均温度 (°C)	供试虫数 (头)	传毒虫数 (头)	循环期 (d)
Average temperature	Number of tested planthoppers	Number of virus transmission planthoppers	Circulative period
18.50	242	19	36.27 ± 0.71 a
23.50	242	22	21.76 ± 0.72 b
27.50	225	42	16.38 ± 2.19 c

表中数据为平均数 ± 标准差。同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean ± SD. Data followed by different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 不同因子对鉴定效果的影响

接种苗龄: 芽鞘期、2 叶 1 心、4 叶 1 心、8 叶 1 心、12 叶 1 心期接种, 玉米粗缩病发病率分别为 95.67%、91.00%、82.33%、73.00%、11.33%, 病情指数分别为 89.50、82.88、61.05、23.49、2.68。芽鞘期和 2 叶 1 心期接种 RBSDV, 玉米粗缩病发病率和病情指数均显著高于 4 叶 1 心、8 叶 1 心、12 叶 1 心期 ($P < 0.05$), 而芽鞘期和 2 叶 1 心期差异不显著 (表 2)。表明适宜玉米粗缩病人工接种鉴定的最佳苗龄为芽鞘期至 2 叶 1 心期。

接种强度: 接种虫量每苗为 1、5、7、10 头时, 玉米粗缩病发病率分别为 44.33%、80.00%、91.33%、97.67%, 其中接种虫量每苗为 7 和 10 头

的发病率显著高于其它处理 ($P < 0.05$), 但这 2 个处理间差异不显著。表明玉米粗缩病人工接种适宜接种虫量每苗为 7 ~ 10 头。

接种时间: 灰飞虱不同的饲食接种时间, 引发玉米粗缩病的发病率不同, 随接种时间的增加玉米粗缩病发病率升高。接种 24、48、72、96 h 后, 玉米粗缩病的发病率分别为 27.67%、46.33%、82.67%、91.33%, 且接种 72 h 和 96 h 处理显著高于其它处理 ($P < 0.05$), 且这 2 处理间差异不显著。表明玉米粗缩病人工接种适宜接种时间为 72 ~ 96 h。

2.3 人工接种鉴定技术的验证

根据上述结果对 15 份玉米自交系和 5 个杂交种进行接种鉴定, 结果显示所鉴定材料中仅 9138

表 2 接种苗龄对人工接种鉴定效果的影响

Table 2 Effects of different growth stages of plants inoculated with RBSDV on inoculation efficiency

接种苗龄 (叶期) Stage of the seedlings inoculated (leaf age)	发病率 (%) Disease incidence	病情指数 Disease index
芽鞘期 Coleoptile age	95.67 ± 4.51 a	89.50 ± 7.16 a
2	91.00 ± 6.67 ab	82.88 ± 9.21 a
4	82.33 ± 10.26 bc	61.05 ± 4.42 b
8	73.00 ± 2.65 cd	23.49 ± 10.28 c
12	11.33 ± 3.06 e	2.68 ± 0.64 d

表中数据为平均数 ± 标准差。同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean ± SD. Data followed by different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

的鉴定抗性水平与已知供试材料的抗性水平符合率 表明所建立的人工接种鉴定技术可客观反映自交系
为 95.00%, 其余材料的符合率均为 100.00% (表 3), 或杂交种的抗性水平。

表 3 人工接种鉴定技术的验证

Table 3 Verification results of the artificial inoculation technique of RBSDV on maize seedlings by planthoppers

	供试材料 Tested hybrid	已知抗性水平 Known resistance	验证病情指数 Disease index	验证抗性水平 Verified resistance	符合率 (%) Coincidence
自交系 Inbred line	X178	HR	2.95	HR	100.00
	90110	R	5.85	R	100.00
	沈 137 Shen 137	R	4.80	R	100.00
	P138	R	6.75	R	100.00
	齐 319 Qi 319	R	8.50	R	100.00
	9138	R	12.89	MR	95.00
	87-1	MR	12.44	MR	100.00
	综 31 Zong 31	MR	19.95	MR	100.00
	丹 360 Dan 360	MR	18.85	MR	100.00
	Mo17	S	23.30	S	100.00
	黄野四 Huangyisi	S	22.20	S	100.00
	K12	S	35.33	S	100.00
	5003	HS	85.25	HS	100.00
	掖 478 Ye 478	HS	98.00	HS	100.00
	掖 107 Ye 107	HS	100.00	HS	100.00
杂交种 Hybrid	郑单 958 Zhengdan 958	HS	97.70	HS	100.00
	浚单 20 Xundan 20	HS	87.17	HS	100.00
	先玉 335 Xianyu 335	HS	78.50	HS	100.00
	青农 105 Qingnong 105	R	4.58	R	100.00
	农大 108 Nongda 108	MR	18.85	MR	100.00

HR: 高抗; R: 抗病; MR: 中抗; S: 感病; HS: 高感。HR: Highly resistant; R: resistant; M: moderately resistant; S: susceptible; HS: highly susceptible.

3 讨论

本试验建立了高效的玉米粗缩病人工接种鉴定技术,即采集田间玉米粗缩病病株作为初始毒源,温室条件下将毒源保存至小麦;取 2~3 龄无毒灰飞虱若虫,在小麦毒源上取食 3 d;取出,在环境温度 23 ± 2 °C、相对湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 、14 h 光照的条件下,健

康小麦苗上度过 25 d 循环期获得带毒灰飞虱;将带毒灰飞虱接种于芽鞘期至 2 叶 1 心期待鉴定的玉米植株;接种强度为 7~10 头虫/苗,接种 72~96 h;移栽至防虫网室调查发病情况。本研究所建立的玉米粗缩病人工接种鉴定技术中,接种毒源为田间玉米粗缩病发病株,利用灰飞虱将 RBSDV 保存于小麦上,既可排除其它玉米病毒病原的影响,又能使小麦

成为灰飞虱良好的饲养寄主, 保证灰飞虱具有较高的带毒率和传毒力。周彤等(2011)利用重病区水稻黑条矮缩病株为毒源, 进行水稻品种抗水稻黑条矮缩病性鉴定。该方法取得了良好的鉴定效果, 但由于灰飞虱传播多种水稻病毒病, 饲毒前需排除其它病毒的影响。

本研究证实, RBSDV 在灰飞虱体内的循环期随温度升高而缩短, 缩短循环期即可缩短鉴定时间, 鉴定时应采用较高的温度。但是多次试验发现, 温度越高, 灰飞虱的发育历期越短, 循环期后灰飞虱死亡越多(尚未发表)。因此, 为保障灰飞虱较高的传毒力和生活力, 本实验室饲养无毒灰飞虱的条件为 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

本试验结果表明玉米芽鞘期至 12 叶 1 心期接种, 均能发病, 但接种苗龄越大, 玉米粗缩病的发病率及病情指数越低。此结果与和志娇等(2011)报道的玉米粗缩病发病叶龄与病害严重度呈显著负相关结论一致。另外, 本试验发现人工接种强度与接种时间与玉米粗缩病发病率呈正相关, 与周彤等(2011)报道水稻黑条矮缩病人工接种时, 随接种时间及接种强度增加, 感病品种发病率随之增加结果相一致。当接种强度每苗为 7~10 头、接种时间为 72~96 h 时, 玉米自交系或杂交种均能取得良好的鉴定效果。但自交系长势较弱, 当接种量每苗为 10 头时, 由于接种强度较大, 移栽后植株长势较弱, 成活率低, 不利于后期发病率调查。因此, 适宜玉米粗缩病人工接种鉴定虫量应根据接种材料适当调节, 鉴定自交系接种量每苗为 7 头、杂交种为 10 头为宜。

防治玉米粗缩病根本措施是使用抗病品种, 而建立科学、准确的抗性鉴定技术是筛选抗病品种的前提。薛林等(2011)对 184 份玉米自交系进行玉米粗缩病田间鉴定表明, 自交系与年份互作的差异极显著, 说明不同年份的环境特别是年份间传毒媒介灰飞虱的种群变化及其带毒率对玉米自交系的抗病性鉴定有较大的影响。陈永坤等(2006)采用田间鉴定时, 齐 319 在 3 种环境下的病株率均为零, 呈高抗反应, 沈 137、P138 等自交系在 2 种环境下为高抗型而在另一种环境下呈抗病反应, 掖 478 在 2 种环境下为感病型而在另一种环境下呈高感反应, 均说明田间鉴定结果受环境影响较大, 可重复性差。应用本研究所建立的人工接种技术进行鉴定, 所鉴定材料中仅 1 份自交系 9138 玉米植株鉴定结果与已知抗性不一致。玉米自交系 9138 田间鉴定为抗

病材料, 而本试验人工接种鉴定仅为中抗, 其原因可能是人工接种鉴定时虫源、毒源压力高于田间鉴定环境所致。本研究报告的人工接种鉴定技术可使感病品种郑单 958、感病自交系掖 478 及掖 107 发病率高达 100.00%, 鉴定结果准确、可靠, 可用于抗性材料的筛选。

参 考 文 献 (References)

- Chen SX, Zhang QY. 2005. Advance in researches on rice black-streaked dwarf disease and maize rough dwarf disease in China. *Journal of Plant Protection*, 32(1): 97–103 (in Chinese) [陈声祥, 张巧艳. 2005. 我国水稻黑条矮缩病和玉米粗缩病研究进展. *植物保护学报*, 32(1): 97–103]
- Chen XZ, Yang MC, Liu XY, Yang BR. 1986. Studies on the occurrence of maize rough dwarf virus disease and integrated program control. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1(2): 90–97 (in Chinese) [陈巽祯, 杨满昌, 刘信义, 杨本荣. 1986. 玉米粗缩病发病规律及综合防治研究. *华北农学报*, 1(2): 90–97]
- Chen YK, Li XH, Xiao MJ, Li MS, Yuan SX, Wang XD, Zhang SH. 2006. Genetic variation in sixty-four maize inbred lines in relation to maize rough dwarf virus. *Acta Agronomica Sinica*, 32(12): 1848–1854 (in Chinese) [陈永坤, 李新海, 肖木辑, 李明顺, 苑森行, 王向东, 张世煌. 2006. 64 份玉米自交系抗粗缩病的遗传变异分析. *作物学报*, 32(12): 1848–1854]
- Di DP, Miao HQ, Li SY, Lu YG, Yang YJ, Chen XZ. 2002. Study on the epidemic factors and control methods of the maize rough dwarf virus disease. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 25(4): 77–79 (in Chinese) [邸垫平, 苗洪芹, 李双悦, 路银贵, 杨彦杰, 陈巽祯. 2002. 玉米粗缩病猖獗流行因素及控制技术研究报告. *河北农业大学学报*, 25(4): 77–79]
- Di DP, Miao HQ, Lu YG, Tian LZ. 2005. Study on the method of inoculation and identification for the resistance of maize to maize rough dwarf virus. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 28(2): 76–103 (in Chinese) [邸垫平, 苗洪芹, 路银贵, 田兰芝. 2005. 玉米抗粗缩病接种鉴定方法研究初报. *河北农业大学学报*, 28(2): 76–103]
- He ZJ, He JW, Zhang ZK, He GQ, Xu ZZ. 2011. Effects of the different symptomatic leaf ages of maize rough dwarf virus on the growth and the maize yield. *Journal of Plant Protection*, 38(5): 475–476 (in Chinese) [和志娇, 和加卫, 张仲凯, 和根强, 徐中志. 2011. 玉米粗缩病不同发病叶龄对玉米生长发育及产量的影响. *植物保护学报*, 38(5): 475–476]
- Li L, Li HW, Dong HB, Wang XF, Zhou GH. 2011. Transmission by *Laodelphax striatellus* Fallen of Rice black-streaked dwarf virus from frozen infected rice leaves to healthy plants of rice and maize. *Journal of Phytopathology*, 159(1): 1–5
- Lu YG, Deng F, Miao HQ, Tian LZ, Di DP, Zhang ZF. 2007. Identification of the disease resistance of maize cultivars to maize

- rough dwarf disease and the relationships between disease indices and yield loss. *Plant Protection*, 33(6): 90–93 (in Chinese) [路银贵, 邓风, 苗洪芹, 田兰芝, 邸垫平, 张增芬. 2007. 河北省主推玉米品种对粗缩病抗性鉴定及病情指标与产量损失率关系研究. *植物保护*, 33(6): 90–93]
- Miao HQ, Lu YG, Di DP, Yang YJ. 2005a. Grasp prevention of the critical period, and vigilance for the epidemic of maize rough dwarf disease. *Hebei Agricultural Science and Technology*, (7): 18 (in Chinese) [苗洪芹, 路银贵, 邸垫平, 杨彦杰. 2005a. 抓好关键期的防治, 警惕玉米粗缩病的流行. *河北农业科技*, (7): 18]
- Miao HQ, Tian LZ, Lu YG, Di DP, Chen XZ. 2005b. A grading criterion for the disease severity caused by maize rough dwarf on fiji virus. *Plant Protection*, 31(6): 87–89 (in Chinese) [苗洪芹, 田兰芝, 路银贵, 邸垫平, 陈巽祯. 2005b. 简便易行的玉米粗缩病病情严重度分级标准. *植物保护*, 31(6): 87–89]
- Tian LZ, Lu YG, Di DP, Miao HQ. 2004. Factors of influencing identification of disease resistance to *Maize rough dwarf fiji virus* (MRDV) on maize in the field. // Peng YL. Academic Meeting Symposium of Chinese Society of Plant Pathology in 2004. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 322–325 (in Chinese) [田兰芝, 路银贵, 邸垫平, 苗洪芹. 2004. 玉米抗玉米粗缩病田间自然鉴定影响因素的研究. // 彭友良. 中国植物病理学会 2004 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, pp. 322–325]
- Xue L, Zhang D, Xu L, Jin MM, Peng CJ, Xu CW. 2011. Mining and analyzing genetic diversity for maize rough dwarf disease resistant germplasms and its application in maize breeding. *Acta Agronomica Sinica*, 37(12): 2123–2129 (in Chinese) [薛林, 张丹, 徐亮, 金萌萌, 彭长俊, 徐辰武. 2011. 玉米抗粗缩病自交系种质的发掘和遗传多样性及其在育种中的应用. *作物学报*, 37(12): 2123–2129]
- Yang XF, Wen GB, Yang Y. 2010. Resistance identification and analysis of different maize germplasms to maize rough dwarf virus. *Journal of Maize Sciences*, 18(3): 144–146 (in Chinese) [杨兴飞, 温广波, 杨轶. 2010. 玉米不同种质对粗缩病的抗性鉴定和分析. *玉米科学*, 18(3): 144–146]
- Zhou T, Wang Y, Wu LJ, Fan YJ, Zhou YJ. 2011. Method of artificial inoculation identification of rice cultivar resistance to rice black-streaked dwarf. *Journal of Plant Protection*, 38(4): 301–305 (in Chinese) [周彤, 王英, 吴丽娟, 范永坚, 周益军. 2011. 水稻品种抗黑条矮缩病人工接种鉴定方法. *植物保护学报*, 38(4): 301–305]

(责任编辑:高 峰)