小麦白粉病预测模型的有效性评价

聂 晓[1,2]， 黄 冲[3]， 刘 伟[2]， 范洁茹[2]， 胡小平[1*]， 周益林[2*]

（1. 西北农林科技大学植物保护学院，旱区作物逆境生物学国家重点实验室，杨凌 712100；2. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；3. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125）

摘要 为全面了解现有小麦白粉病预测模型的有效性，本文收集整理了全国 9 个省 31 个县(市)46 个小麦白粉病预测模型，在对其实用性、时效性和准确性评价的基础上，对其中 6 个模型进行了优化、简化或重建，共获得 4 省 7 市 12 个小麦白粉病预测模型，此研究结果对于这些模型在生产上应用提供了依据。

关键词 小麦白粉病； 预测模型； 有效性评价

中图分类号： S 431.3 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2020085

The efficiency evaluation of wheat powdery mildew forecasting models

NIE Xiao[1,2]， HUANG Chong[3]， LIU Wei[2]， FAN Jieru[2]， HU Xiaoping[1*]， ZHOU Yilin[2*]

（1. *State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas*，*College of Plant Protection*，*Northwest A & F University*，*Yangling* 712100，*China*；2. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*，*Institute of Plant Protection*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*，*Beijing* 100193，*China*；3. *National Agro-Tech Extension and Service Center*，*Beijing* 100125，*China*）

Abstract In order to fully understand the efficiency of the previous forecasting models of wheat powdery mildew, totally 46 models from 31 cities (counties) of 9 provinces in China were collected. Based on their practicality, timeliness and accuracy, six models were chosen and further simplified and optimized or rebuilt, and a total of 12 forecasting models were obtained for 7 cities of 4 provinces. The results of this study provide a basis for the application of these forecasting models in the control of wheat powdery mildew.

Key words wheat powdery mildew； forecasting model； efficiency evaluation

由专性寄生菌 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* 引起的小麦白粉病是我国小麦生产上的重要病害之一，近年来其在我国发生流行面积一直维持在 600 万～800 万 hm^2。小麦白粉病发生流行早且重的情况下，会严重阻碍小麦的生长发育，造成分蘖数、成穗数和穗粒数减少，千粒重下降，严重影响小麦产量[1-2]。病害预测预报是病害防治的重要依据[3-4]。自 20 世纪 80 年代以来，许多研究者对小麦白粉病预测预报做了大量的研究工作[5]。周益林等[6]采用数理统计的方法，明确了我国河南南阳地区影响白粉病流行的关键因子，在此基础上建立了病害的流行终期病情、春季始病期时间、初春病情和春季流行速率预测模型；邵振润等[7]通过对河南温县小麦白粉病 14 年的发生流行情况的分析，初步明确影响该麦区小麦白粉病流行的主要因素和主要预测因子是当年早春 3 月中旬的菌源基数、3 月－4 月降水量和日照时数，并提出了此病害中期预测的综合分析预测法和预测指标，建立了病害发生程度预测模型；Te Beest 等[8]通过对英国 12 个地点 1994 年－2002 年气象数据和田间试验小区小麦白粉病发生程度的分析，确定了 4 月－6 月的温度、湿度和降雨是小麦白粉病流行的主要关键因子，建立了定性预测病害流行情况下病害严重度的经验模型。

由于国内许多小麦白粉病预测模型已经建立多年，如要在当前生产上应用，其时效性、实用性、准确率等均不清楚，因此本研究收集和系统梳理了我国已发表的小麦白粉病预测模型，对这些模型的时效性、实用性、准确率等进行分析，在此基础上对其中

收稿日期： 2020－02－21 **修订日期：** 2020－04－14
基金项目： 国家重点研发计划(2018YFD0200500)；国家自然科学基金(31671966)
* 通信作者 E-mail：胡小平 xphu@nwsuaf.edu.cn；周益林 ylzhou@ippcaas.cn

的一些模型进行优化、简化或重建，为这些模型在生产上的应用提供依据。

1　研究方法

1.1　小麦白粉病预测模型的收集整理

系统收集整理了全国 9 个省 31 个市（县）的 46 个小麦白粉病预测模型（表 1）。

表 1　全国各省市已发表的小麦白粉病预测模型情况

Table 1　Forecasting models of wheat powdery mildew published for different provinces or cities in China

省份 Province	市（县）数/个 No. of cities (counties)	模型数/个 No. of models
江苏 Jiangsu	3	4
湖北 Hubei	2	5
安徽 Anhui	1	3
四川 Sichuan	4	4
山东 Shandong	5	5
河南 Henan	10	10
河北 Hebei	1	6
甘肃 Gansu	2	6
陕西 Shaanxi	3	3
总计 Total	31	46

1.2　小麦白粉病病情资料和气象资料的收集

小麦白粉病的历史病情资料大部分来自于建模作者的原文；四川南充和巴中、河南南阳和安阳、山东章丘近年来的病情数据由全国农业技术推广服务中心提供，其中，四川南充和巴中、河南南阳和安阳采用 2009 年－2018 年病情资料进行当前数据拟合，山东章丘采用 2012 年－2018 年病情资料进行当前数据拟合；气象资料如气温、降水量、湿度、光照时数等来自于国家气象信息中心（网站：http://data.cma.cn/site/index.html）或作者原文。

1.3　小麦白粉病预测模型的有效性评价

小麦白粉病模型的有效性评价主要从模型时效性、实用性和准确性三个方面进行分析，其中时效性和实用性评价主要考虑预测模型的关键预测变量中的气象因子是否晚于小麦白粉病防治最佳时期以及预测变量获取的难易程度等。

模型预测的准确性评价是采用预测的小麦白粉病发病程度与实际调查的发病程度进行比较，具体方法采用肖悦岩[9]的预测预报准确度评价方法，即最大误差参照法检验预测的准确度：

$$R=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1-\frac{|F_i-A_i|}{M_i}\right)\times 100\%。$$

式中，R 为数据拟合率，F_i 为预测结果的流行等级值，A_i 为实际调查结果的流行等级值，M_i 为第 i 次预测的最大参照误差，该值为最高流行等级值与实际流行等级值之差和实际流行等级值两者中的较大值。如实际流行等级值为 2，最高流行等级值与实际流行等级值之差为 3（白粉病流行等级最高值为 5），那么 M_i 值为 3。一般认为，预测流行等级与实际流行等级差值小于 1 时为准确，等于 1 时为基本准确，大于 1 时为不准确。

1.4　模型优化、简化或重建方法

主要采用 RGui 3.6.1 软件计算病情与气象因子等的相关系数，筛选预报的关键主导因子或变量，并进行回归分析，对原有模型进行优化、简化或重建。

2　结果与分析

2.1　小麦白粉病预测模型的时效性和实用性评价

通过对收集到的全国 9 省 31 个县（市）的 46 个小麦白粉病预测模型的时效性和实用性分析，其中 14 个模型的时效性和实用性较差，同时也发现有 26 个模型原始论文中病害流行学数据或气象数据缺失，最后初步筛选获得了 4 省 6 个市（县、区）的 6 个小麦白粉病预测模型（表 2）。

表 2　4 个不同省市 6 个小麦白粉病预测原模型

Table 2　The original six forecasting models of wheat powdery mildew for 4 provinces

地区 Region		模型 Model	模型来源 Source of the model
江苏 Jiangsu	高邮	$Y=-18.422+4.277X_1$，$R^2=0.641\ 0$，Y 为严重度，X_1 为 3 月中旬温度	刁春友等，2000[10]
四川 Sichuan	南充	$Y=0.264\ 5X_1+0.232\ 9X_2-21.283\ 2$，$R^2=0.687\ 9$，$P=0.01$，$Y$ 为发生程度，X_1 为 2 月平均气温，X_2 为 1 月相对湿度	沈丽等，2000[11]
	巴中	$Y=0.550\ 8X_1-0.166\ 0X_2+11.356\ 2$，$R^2=0.721\ 5$，$P=0.004$，$Y$ 为发生程度，X_1 为 1 月平均气温，X_2 为 2 月相对湿度	

续表 2 Table 2(Continued)

地区 Region		模型 Model	模型来源 Source of the model
河南 Henan	南阳	$Y=4.0979+0.1235X_1+0.0641X_2-0.0154X_3$，$R^2=0.9352$，$P<0.001$，$Y$ 为发生程度，X_1 为 3 月下旬平均病茎率，X_2 为 4 月上旬至 5 月上旬降雨系数，X_3 为 4 月上旬至 5 月上旬日照时数	李金锁，2000[12]
	安阳	$Y=6.5X_1+0.152X_2-1.044$，$R^2=0.5868$，$P<0.01$，Y 为当年小麦白粉病发生等级，X_1 为 3 月相对湿度，X_2 为上年 3 月下旬温雨系数	李彤霄，2015[13]
山东 Shandong	章丘	$Y=3.4017+0.0320X_1+0.8179X_2+1.2871X_3-1.1438X_4+0.6091X_5+0.0727X_6$，$R^2=0.8150$，$P=0.01$，$Y$ 为发生程度，X_1 为上年 12 月份降水，X_2 为上年 12 月份均温，X_3 为 1 月份均温，X_4 为 2 月份均温，X_5 为 2 月雨露日，X_6 为 3 月中上旬降水	杨万海等，2000[14]

2.2 小麦白粉病预测模型的优化(简化)或重建及准确性检验

对表 2 中 6 个原模型进行优化(简化)或重建，得到 12 个模型(表 3)。

表 3 小麦白粉病预测技术优化(简化)或重建模型

Table 3 The optimized (simplified) or rebuilt forecasting models of wheat powdery mildew

地区 Region		优化(简化)或重建模型 Optimized (simplified) or rebuilt model	模型参数 Model parameter
江苏 Jiangsu	高邮	$Y=0.5540X_1+0.2086X_2-0.0794$，$R^2=0.6006$，$P=0.001$	Y 为发生程度，X_1 为 2 月下旬平均降水量，X_2 为 3 月下旬平均温度
	睢宁	1：$Y=0.4445X_1+0.2740X_2+0.4261X_3+1.1342$，$R^2=0.6744$，$P=0.003$	Y 为发生程度，X_1 为 11 月下旬平均降水量，X_2 为 12 月上旬平均温度，X_3 为 3 月下旬平均降水量
		2：$Y=0.2061X_2+0.4704X_3+1.6350$，$R^2=0.5278$，$P=0.007$	Y 为发生程度，X_2 为 12 月上旬平均温度，X_3 为 3 月下旬平均降水量
四川 Sichuan	南充	1：$Y=0.6845+1.5050X_1+1.4612X_2+2.0547X_3$，$R^2=0.9329$，$P<0.001$	Y 为发生程度，X_1 为 1 月下旬平均降水量，X_2 为 2 月上旬均温，X_3 为 3 月下旬平均相对湿度(归一化处理)
		2：$Y=1.4761+2.7982X_3$，$R^2=0.707$，$P=0.001$	Y 为发生程度，X_3 为 3 月下旬平均相对湿度(归一化处理)
	巴中	$Y=0.3577X_1+0.7456X_2-0.6298X_3-3.9499$，$R^2=0.7626$，$P=0.002$	Y 为发生程度，X_1 为 1 月上旬平均温度；X_2 为 2 月下旬平均温度，X_3 为 2 月下旬平均日照时间
河南 Henan	南阳	1：$Y=1.7059+0.5723X_2+0.5916X_3$，$R^2=0.5115$，$P=0.01$	Y 为发生程度，X_2 为 2 月下旬平均降水量，X_3 为 3 月下旬平均降水量
		2：$Y=1.3923+0.6201X_1+0.6437X_2+0.5951X_3$，$R^2=0.6723$，$P=0.003$	Y 为发生程度，X_1 为 12 月中旬平均降水量，X_2 为 2 月下旬平均降水量，X_3 为 3 月下旬平均降水量
	安阳	1：$Y=7.4140X_1-0.0602X_2+0.0905X_3+0.2198$，$R^2=0.8673$，$P=0.005$	Y 为发生程度，X_1 为 1 月下旬平均降水量，X_2 为 3 月上旬平均相对湿度，X_3 为 3 月中旬平均相对湿度
		2：$Y=0.0816X_3-1.9801$，$R^2=0.7203$，$P=0.002$	Y 为发生程度，X_3 为 3 月中旬平均相对湿度
山东 Shandong	章丘	1：$Y=0.8853X_1+2.3139X_2+1.5285X_3-0.0482$，$R^2=0.8559$，$P<0.001$	Y 为发生程度，X_1 为 12 月上旬平均温度，X_2 为 3 月上旬平均相对湿度，X_3 为 3 月下旬平均降水量
		2：$Y=2.5026X_2+1.65X_3+0.3554$，$R^2=0.8071$，$P<0.001$	Y 为发生程度，X_2 为 3 月上旬平均相对湿度，X_3 为 3 月下旬平均降水量

对 6 个原模型和 12 个简化或优化模型进行历史数据拟合率检验和当前数据拟合率检验(表 4)可以看出：江苏省高邮原模型和新建模型的历史数据拟合率分别为 66.32%和 68.37%；睢宁县根据原文的病害历史数据新建的模型 1 和模型 2 其历史数据拟合率分别为 84.60%和 82.02%。四川省南充市原模型的历史数据拟合率为 40.34%，其优化模型 1 和模型 2 的历史数据拟合率分别为 93.67%和 87.04%；南充市原模型的当前数据拟合率为 33.38%，其优化模型 1 和模型 2 的当前数据拟合率分别为 70.59%和 67.84%；巴中市原模型和优化模型的历史数据拟合率分别为 64.10%和 88.64%，当前数据拟合率分别为 61.83%和 32.84%。

河南省南阳市原模型的历史数据拟合率为 93.90%(因原模型预测因子中 3 月下旬平均病茎率数据无法获得，未进行当前数据拟合率检验)，其优化模型 1 和模型 2 的历史数据拟合率分别为 77.86%和 82.69%，且优化模型 1 和模型 2 的当前数据拟合率为 78.81%和 74.45%；安阳市原模型的历史数据拟合率为 62.66%，其优化模型 1 和

模型 2 的历史数据拟合率分别为 90.07% 和 84.82%,原模型的当前数据拟合率为 50.76%,优化模型 1 和模型 2 的当前数据拟合率分别为 56.32%和 71.86%。

山东省章丘区原模型的历史数据拟合率为 61.29%,其简化模型 1 和简化模型 2 的历史数据拟合率分别为 89.37%和 87.96%,原模型的当前数据拟合率为 55.12%,其简化模型 1 和简化模型 2 的当前数据拟合率为 81.50%和 80.72%。

表 4　小麦白粉病预测模型的检验[1)]

Table 4　Validation of the accuracies of the wheat powdery mildew forecasting models

地区 Region		历史数据拟合率检验/% Ratio fitting of the historical data			当前数据拟合率检验/% Ratio fitting of current data		
		原模型 Original model	优化(简化)模型 1 Optimized (simplified) model 1	优化(简化)模型 2 Optimized (simplified) model 2	原模型 Original model	优化(简化)模型 1 Optimized (simplified) model 1	优化(简化)模型 2 Optimized (simplified) model 2
江苏 Jiangsu	高邮	66.32	68.37	—	—	—	—
	睢宁	—	84.60	82.02	—	—	—
四川 Sichuan	南充	40.34	93.67	87.04	33.38	70.59	67.84
	巴中	64.10	88.64	—	61.83	32.84	—
河南 Henan	南阳	93.90	77.86	82.69	—	78.81	74.45
	安阳	62.66	90.07	84.82	50.76	56.32	71.86
山东 Shandong	章丘	61.29	89.37	87.96	55.12	81.50	80.72

1) "—"指病害资料或模型预测因子数据缺失,无法进行拟合检验。
—, missing of the disease data or model predictor data, unable to perform fitting test.

3　讨论

本研究结果发现,现有已发表的小麦白粉病预测模型在生产上应用之前,对其有效性评价是必要的。已发表模型中的部分模型存在预测因子不易获取、预测因子晚于防治最佳时期或者预测因子比较多等缺点。例如南阳原模型所需的预测因子包括 4 月上旬至 5 月上旬的降雨系数和日照时数,这大大晚于此地区病害的最佳防治期;章丘原模型的预测因子有 6 个之多。

尤其是已发表的一些模型当时建模所用的数据离现在比较久远,由于各种影响病害流行的因子或条件已发生不同程度的变化,可能导致这些模型对当前病害发生情况预测准确度较差,比如四川巴中采用历史数据建立的原模型和优化模型对当前数据拟合率检验均较差,所以本研究结合了历史病情数据(1980 年—1995 年,缺 1993 年和 1994 年)和当前病情数据(2009 年—2018 年)重建了该地区的预测模型:$Y=3.1772+0.1453X_1-0.4165X_2-0.2195X_3$ ($R^2=0.5617$, $P=0.001$,式中 Y 为白粉病田间发生程度;X_1:12 月下旬平均相对湿度;X_2:2 月中旬平均日照时间;X_3:2 月下旬平均日照时间),对此重建模型进行检验,数据拟合率为 82.5%,大大提高了其预测准确性。

本研究在对原模型分析的基础上,对其进行了优化、简化或重建,从检验结果可以看出,优化模型不仅提高了实用性和时效性,同时大多还提高了其准确性,如南阳模型的优化点在于提前了模型预测因子的时间,将预测因子最晚需要 4 月上旬至 5 月上旬的降雨系数和日照时数优化为最晚需要 3 月下旬的平均降水量。

从本研究结果看出,尽管这些年来我国在小麦白粉病的预测预报研究方面做了不少工作,也建立了一些预测模型,但通过对其进行有效性评价发现,可以用于生产预测的并不多,因此今后需继续加强这方面的研究工作,其中最紧迫而重要的是重视各地此病害发生流行数据的长期收集,这是建立预测预报模型最基础的必要工作。

参考文献

[1] 刘孝坤. 我国小麦白粉病研究的进展[J]. 农牧情报研究, 1989(8): 1-10.

[2] 姜玉英, 曾娟. 小麦病虫草害发生与监控[M]. 北京:中国农业出版社, 2004.

[3] 李光博, 曾士迈, 李振歧. 小麦病虫草鼠害综合治理[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1990: 226-243.

[4] 曾士迈. 植保系统工程导论[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 79-89.

(下转 52 页)

[5] SILVER K S, SODERLUND D M, Action of pyrazoline-type insecticides at neuronal target sites [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2005, 81(2): 136 - 143.

[6] LAPIED B, GROLLEAU F, SATTELLE D B. Indoxacarb, an oxadiazine insecticide, blocks insect neuronal sodium channels [J]. British Journal of Pharmacology, 2001, 132(2): 587 - 595.

[7] 严仪宽. 安打(茚虫威)在蔬菜害虫上的防治应用[J]. 新农药, 2005(5): 47 - 48.

[8] 吴霞. 拟除虫菊酯、氟虫腈和茚虫威作用机制的最新进展[J]. 世界农药, 2002, 24(2): 29 - 34.

[9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理局. 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[10] 农业部农药检定所. 中国农药信息网农药综合查询系统[DB/OL]. (2018 - 12 - 24)[2019 - 07 - 04]. http://www.chinapesticide.gov.cn/.

[11] 食品伙伴网. 食品数据库-日本肯定列表查询[DB/OL]. (2019 - 03 - 21)[2019 - 07 - 04]. http://db.foodmate.net/kending/.

[12] 廖丹. 茚虫威在水稻中的残留及其光降解研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.

[13] 李畅方, 何强, 徐伟松, 等. 茚虫威在甘蓝和土壤中的残留量及消解动态研究[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(12): 8 - 11.

[14] 杨淑娟, 郭建辉, 蔡恩兴, 等. 茚虫威在豇豆中残留动态及安全使用技术研究[J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(2): 46 - 49.

[15] 赵学平, 袁玉伟, 胡秀卿, 等. 茚虫威和毒死蜱在小白菜中的残留及其膳食暴露评估[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6): 784 - 789.

[16] 董丰收, 郑永权, 沙宪英, 等. 茚虫威 15%悬浮剂在棉花和土壤中的残留动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 1027 - 1031.

[17] 农业部农药检定所. 农药登记残留田间试验标准操作规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[18] 农业农村部种植业管理司. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788—2018[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

[19] 吴永宁, 李筱薇. 第四次中国总膳食研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 63.

[20] 刘清浩, 刘新涛, 倪云霞, 等. 吡虫啉在金银花及土壤中的残留动态研究[J]. 植物保护, 2011, 37(1): 90 - 92.

[21] 王玉洁, 薛健, 金红宇, 等. 金银花中氟啶虫胺腈的残留规律及膳食风险评估[J]. 中成药, 2017, 39(7): 1534 - 1536.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 41 页)

[5] 刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究总结报告[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[6] 周益林, 盛宝钦, 肖悦岩. 小麦白粉病预测预报的研究[M]//赵美琦. 麦田植保系统工程的研究. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 52 - 56.

[7] 邵振润, 刘万才, 姜瑞中, 等. 豫北麦区小麦白粉病中期测报技术研究[J]. 植物保护, 1996, 22(6): 11 - 14.

[8] TE BEEST D E, PAVELEY N D, SHAW M W, et al. Disease-weather relationships for powdery mildew and yellow rust on winter wheat [J]. Phytopathology, 2008, 98(5): 609 - 617.

[9] 肖悦岩. 预测预报准确度评价方法的研究[J]. 植保技术与推广, 1997, 17(4): 3 - 6.

[10] 刁春友, 沈龙元. 江苏省小麦白粉病预测预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[11] 沈丽, 刘牛, 廖华明, 等. 四川省小麦白粉病中期预测模型初探[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[12] 李金锁. 南阳盆地小麦白粉病中期测报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[13] 李彤霄. 河南省小麦白粉病综合发生等级预测技术研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(9): 54 - 57.

[14] 杨万海, 董礼涛, 王光宝, 等. 山东省小麦白粉病中长期预报技术研究[M]//刘万才, 邵振润, 姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京: 中国农业出版社, 2000.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 46 页)

[19] SHI Xiaobin, TANG Xin, ZHANG Xing, et al. Transmission efficiency, preference and behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED under the influence of *Tomato chlorosis virus* [J/OL]. Frontiers in Plant Science, 2018, 8: 2271. DOI: 10.3389/fpls.2017.02271.

[20] MARKHAM P G, BEDFORD I D, LIU Shusheng, et al. The transmission of geminiviruses by *Bemisia tabaci* [J]. Pest Management Science, 1994, 42(2): 123 - 128.

[21] 李娇娇, 张秀霞, 周仙红, 等. 日光温室番茄褪绿病毒病的发生规律及其与 Q 型烟粉虱种群动态关系[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 746 - 752.

[22] 张友军, 吴青君, 王少丽, 等. 我国蔬菜重要害虫研究现状与展望[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 38 - 45.

[23] ORFANIDOU C G, DIMITRIOU C, PAPAYIANNIS L C, et al. Epidemiology and genetic diversity of criniviruses associated with tomato yellows disease in Greece [J]. Virus Research, 2014, 186: 120 - 129.

(责任编辑: 田 喆)