

小麦赤霉病自动监测预警系统应用效果评价

宋 瑞¹, 王嘉荟¹, 袁冬贞², 王保通¹, 范三红¹,
秦志波³, 黄 冲⁴, 刘万才⁴, 胡小平^{1*}

(1. 西北农林科技大学植物保护学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省植物保护工作站, 西安 710003;
3. 西安黄氏生物工程有限公司, 西安 710065; 4. 全国农技推广服务中心, 北京 100125)

摘要 2018年在江苏、陕西、河南、湖北、安徽共18个县(市)安装了小麦赤霉病预报器,在周边设置未防治麦田进行赤霉病调查,并与预警软件平台预测结果相比较,评价小麦赤霉自动监测预警系统的准确性。评价结果表明,2018年该系统预测的准确性达71.8%。结合陕西省植保总站、西安市植保站、渭南华州区植保站、商洛洛南县植保站、安徽凤台县植保站2016年—2018年对该系统的评价结果,证实该系统预测准确性较高,系统工作稳定,自动化程度高,可为小麦赤霉病的科学防控提供重要的参考依据,具有一定的应用前景。

关键词 小麦赤霉病; 自动监测预警; 准确性评价

中图分类号: S 431.7 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019122

Application effect evaluation of the automatic monitoring and warning system for *Fusarium* head blight

SONG Rui¹, WANG Jiahui¹, YUAN Dongzhen², WANG Baotong¹, FAN Sanhong¹,
QIN Zhibo³, HUANG Chong⁴, LIU Wancai⁴, HU Xiaoping^{1*}

(1. College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Shaanxi Provincial Plant Protection Extension Station, Xi'an 710003, China; 3. Xi'an Huangshi Biological Engineering Co., Ltd., Xi'an 710065, China; 4. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract In 2018, we installed 18 predictors in Jiangsu, Shaanxi, Henan, Hubei and Anhui to evaluate the prediction accuracy of the system. The prediction results from the system were compared with that achieved from the investigation in un-control fields. Results showed that prediction accuracy of the system reached to 71.8% in 2018. Combined with the evaluation results from Shaanxi Provincial Plant Protection Extension Station, Xi'an Provincial Plant Protection Extension Station, Huazhou Plant Protection Extension Station in Shaanxi, Luonan Plant Protection Extension Station in Shaanxi and Fengtai Plant Protection Extension Station in Anhui, the accuracy of the system was high, and the system was stable, reliable with high automation level and good application prospect, which can provide important reference for controlling the disease.

Key words *Fusarium* head blight; automatic monitoring and warning system; accuracy evaluation

小麦赤霉病(*Fusarium* head blight)是由禾谷镰孢 *Fusarium graminearum* 及亚洲镰孢 *F. asiaticum* 等多种镰孢菌引起的世界性真菌病害。在欧洲、北美、南美、亚洲、澳洲等地主产麦区均有分布。在我国尤其是小麦穗期湿润、多雨的长江流域和沿

海地区受害严重。但近年来由于全球气候变暖,玉米-小麦或水稻-小麦长期轮作和秸秆还田等农艺措施引起病原菌积累,小麦赤霉病危害愈加频繁。小麦赤霉病不仅能造成产量及品质的损失,其产生的真菌毒素,如脱氧雪腐镰孢菌烯醇(deoxynivalenol,

收稿日期: 2019-03-12 修订日期: 2019-05-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200402, 2016YFD0300700); 陕西省农业科技创新与转化项目(NYKJ-2016-02); 农作物病虫害疫情监测与防治

* 通信作者 E-mail: xphu@nwsuaf.edu.cn

DON)、玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)、雪腐镰孢烯醇(nivalenol, NIV)等,严重影响人畜健康。因此,对小麦赤霉病进行有效防治尤为重要。

小麦赤霉病的发生与菌源、气候、品种等多种因素相关。赤霉病发病速度快,防治窗口期短。因此,有效防治的关键是确定最佳防治时间,这就需要对小麦赤霉病进行科学有效的预报。对此,国内外学者进行了大量的研究。在国外,匈牙利、爱尔兰、意大利、英国、加拿大、美国科学家^[1-3]根据降雨量、气温、相对湿度、叶面湿度等气象因子,针对 DON 含量建立了预测模型;阿根廷、加拿大科学家^[4-5]根据温度、湿度等气象因子,针对小麦赤霉病病穗率及严重度建立了预测模型;美国科学家^[6-8]根据开花前后降雨、温度、相对湿度持续时间,针对小麦赤霉病发生建立风险评价模型;日本的上田进等^[9]根据 4 月中旬离地 50~80 cm 处子囊孢子捕捉数量,建立回归模型来预测赤霉病的病穗率。我国学者除利用温度、相对湿度、光照强度、降水量^[10]等小尺度气象因子外,还考虑大气环流^[11-12]、海温^[13-14]、厄尔尼诺^[15]等大尺度气象因子,以及菌源,如 3 月—4 月田间稻桩子囊壳带菌率^[16]、孢子捕捉数量^[17-18]等,建立小麦赤霉病的预测模型。1993 年张文军就根据菌源量、小麦品种开花期特性、气象因子等因素建立了关中地区小麦赤霉病的流行动态模型^[19]。2015 年张平等建立了基于产壳秸秆密度的关中地区小麦赤霉病病穗率预测模型,并以此为基础,研制了预报器^[20-21],以及基于物联网的小麦赤霉病自动监测预警系统。

本研究主要目的是对安装在江苏、陕西、湖北、河南、安徽等不同生态区的小麦赤霉病预报器的预测准确性、预测系统的稳定性等进行评价,以期为该系统的推广应用及小麦赤霉病的防控等提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

小麦赤霉自动监测预警系统由小麦赤霉病预报器和预警软件平台系统组成(www.cebaowang.com),主要由西北农林科技大学胡小平教授课题组、陕西省植物保护工作站以及西安黄氏生物工程有限公司共同研制^[20-21]。预报器应用了 GPRS 技术、数据自动存储技术,可实时记录温度、相对湿度、叶片表面湿润时间、降雨量等田间环境因子数据,并可实现数据的远距离无线传输、自动存储等功能;预警软件平台系统可通过内置的预测模型,根据初始菌源量以及麦田环境相关因子实时监测数据,在扬花期前 1 周预测小麦蜡熟期赤霉病发生程度,并能在监测结果超过防治指标时及时发送警报,指导病害防治。

1.2 初始菌源量调查

根据前茬作物,可分为两种调查方法。(1)前茬作物为玉米。每个监测点在小麦抽穗始期,随机选择 5 块麦田(5×667 m² 以上),每块麦田采用大 5 点取样法,每个样点 10 m² (2 m×5 m),捡拾玉米残秆,以每个带节 5~6 cm 长的残秆作为标准样秆,统计玉米残秆的数量,并检查玉米残秆上是否有子囊壳,计算每个监测点麦田每平方米的产壳玉米秸秆密度(个/m²)。(2)前茬作物为水稻。每个监测点在小麦抽穗始期,随机选择 5 块麦田(5×667 m² 以上),每块麦田采用大 5 点取样法,每个样点 4 m² (2 m×2 m),捡拾水稻残秆,以整穴稻桩作为标准样秆,统计水稻残秆的数量。并检查水稻残秆上是否有子囊壳,计算每个监测点麦田每平方米的产壳水稻秸秆密度(丛/m²)。

1.3 病穗率调查及等级划分

在小麦蜡熟期(5 月 12 日—24 日),对江苏、陕西、湖北、河南、安徽等地主产麦区麦田预报器周边未防治麦田进行赤霉病病穗调查,每块麦田随机选取 10 个点,每个点选取 20 株麦穗,记录病穗数,计算病穗率。根据国标 GB/T15796-2011^[22]将实际调查病穗率进行流行等级划分(表 1)。

表 1 小麦赤霉病发生程度分级指标¹⁾
Table 1 Classification index of occurrence degree of wheat scab

指标 Index	1 级 Level 1	2 级 Level 2	3 级 Level 3	4 级 Level 4	5 级 Level 5
病穗率/% Rate of disease ear	0.1<X≤10	10<X≤20	20<X≤30	30<X≤40	X>40
发病面积比率/% Incidence area ratio	Y>30	Y>30	Y>30	Y>30	Y>30

1) X: 病穗率;Y: 发病面积比率为参考指标。
X: Rate of disease ear; Y: Incidence area ratio is a reference indicator.

1.4 预测的准确性评价

利用实际调查的小麦赤霉病病穗率与预测的病穗率进行比较,采用肖悦岩^[23]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:

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

式中, R 为预测准确度, 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,该值为实际流行等级值和最高流行等级值与实际流行等级值之差中最大的值。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(赤霉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,差值为 1 时,为基本准确,大于 1 时为不准确。

2 结果与分析

2.1 初始菌源量调查

2018 年 3 月—4 月,各地植保部门按照大五点取样法调查了江苏 4 县(市)、陕西 10 县(市)、湖北 2 县(市)、河南 1 县和安徽 1 县的小麦赤霉病初始菌源量。同时,记录了当地小麦的前茬作物以及抽穗日期等相关信息(表 2)。从表 2 可以看出,江苏、安徽初始菌源量普遍偏高;河南、湖北初始菌源量为中等水平;陕西省除华县、泾阳县外,其他地区初始菌源量均在 1 个/ m^2 以下。

表 2 2018 年主产麦区麦田初始菌源量¹⁾

Table 2 Primary inoculum source in wheat fields in main wheat producing areas in 2018

	地区 Region	经纬度 Latitude and longitude	海拔/m Altitude	前茬作物 Preceding crop	初始菌源量/ 个·m ⁻² 或丛·m ⁻² Primary inocula	抽穗日期/ 月-日 Heading date
江苏省 Jiangsu	常州市武进区 Wujin, Changzhou	31°33′27″N, 119°58′28″E	5	水稻	1	04-18
	苏州市太仓市 Taicang, Suzhou	31°32′02″N, 121°17′13″E	5	水稻	5	04-20
	南通市海安县 Hai'an, Nantong	32°33′26″N, 120°35′1″E	6	水稻	4	04-18
	泰州市姜堰区 Jiangyan, Taizhou	32°31′21″N, 120°11′6″E	4	水稻	5	04-15
陕西省 Shaanxi	渭南市富平县 Fuping, Weinan	34°50′55″N, 109°14′57″E	468	玉米	0.34	04-20
	渭南市蒲城县 Pucheng, Weinan	34°51′58″N, 109°30′01″E	387	玉米	0.187	04-15
	渭南市大荔县 Dali, Weinan	34°36′56″N, 109°52′15″E	332	玉米	0.4	04-20
	渭南市华州市 Huazhou, Weinan	34°33′57″N, 109°53′39″E	359	玉米	2.7	04-15
	渭南市华阴市 Huayin, Weinan	34°33′18″N, 109°55′31″E	365	玉米	0.44	04-20
	渭南市临渭区 Linwei, Weinan	34°42′29″N, 109°35′57″E	352	玉米	0.062	04-20
	咸阳市泾阳县 Jingyang, Xianyang	34°32′33″N, 108°47′51″E	417	玉米	1.45	04-11
	咸阳市三原县 Sanyuan, Xianyang	34°41′52″N, 109°06′42″E	515	玉米	0.12	04-21
	宝鸡市眉县 Meixian, Baoji	34°31′91″N, 107°71′23″E	513	玉米	0.009 8	04-15
	宝鸡市陈仓区 Chencang, Baoji	34°35′44″N, 107°38′74″E	557	玉米	0.001	04-25
湖北省 Hubei	天门市 Tianmen	30°64′73″N, 113°43′28″E	30	水稻	1	04-10
	潜江市 Qianjiang	30°25′23″N, 112°92′12″E	29	水稻	1	04-10
河南省 Henan	驻马店市平舆县 Pingyu, Zhumadian	32°54′17″N, 114°36′31″E	41	玉米	2	04-20
安徽省 Anhui	淮南市凤台县 Fengtai, Huainan	32°46′49″N, 116°37′42″E	24	水稻	4.8	04-18

1) 前茬作物为水稻时,初始菌源量单位为丛/ m^2 ;前茬作物为玉米时,初始菌源量单位为个/ m^2 。
The unit of primary inocula is rice cluster per square meter when pre crop was rice; the unit of primary inocula is number per square meter when pre crop was corn.

2.2 小麦赤霉病病穗率调查

在小麦蜡熟期按照随机取样法调查小麦赤霉病的实际病穗率,根据国标 GB/T15796-2011 将实际调查病穗率进行流行等级划分,并与预测病穗率及预测流行等级进行比较(表 3)。结果发现,河南、安徽、湖北的实际病穗率平均均在 29% 以上,而江苏、陕西实际病穗率因县域不同而差异较大,如渭南市

临渭区的平均病穗率为 19%,而蒲城县为 52%。将实际调查病穗率的流行等级与预测病穗率的流行等级相比较,大部分地区预测的流行等级为准确或基本准确。但陕西省的华阴市、大荔县、华县、三原县,湖北省潜江市的预测流行等级为不准确。特别是陕西省的华阴市调查的病穗率流行等级为 4 级,而预测流行等级为 1 级,为预测最不准确的县级市。

表 3 2018 年主产麦区小麦赤霉病病穗率及流行等级¹⁾

Table 3 Incidence and epidemic level of wheat scab in main producing areas in 2018

地区 Region	调查总株数 Total number	实际值 Actual value		预测值 Predictive value		
		实际病穗率/%	流行等级	预测病穗率/%	流行等级	
		Actual incidence	Popularity level	Predicted incidence	Popularity level	
江苏省 Jiangsu	常州市武进区 Wujin, Changzhou	240	0~15(4.2)	1	7.83	1
	苏州市太仓市 Taicang,Suzhou	820	0~65(25)	3	35.2	4
	南通市海安县 Hai'an, Nantong	250	5~30(12.5)	2	28.6	3
	泰州市姜堰区 Jiangyan, Taizhou	110	30~70(51)	5	54.8	5
陕西省 Shaanxi	渭南市富平县 Fuping, Weinan	320	5~45(25)	3	32.7	4
	渭南市蒲城县 Pucheng, Weinan	620	24~90(52)	5	50.3	5
	渭南市大荔县 Dali, Weinan	160	20~30(24)	3	5.64	1
	渭南市华州市 Huazhou, Weinan	1 040	15~62(39)	4	19.9	2
	渭南市华阴市 Huayin, Weinan	610	12~85(33)	4	5.97	1
	渭南市临渭区 Linwei, Weinan	910	0~80(19)	2	3.6	1
	咸阳市泾阳县 Jingyang, Xianyang	370	5~35(19)	2	28.5	3
	咸阳市三原县 Sanyuan, Xianyang	350	0~15(8)	1	25.57	3
	宝鸡市眉县 Meixian,Baoji	401	0~25(9)	1	3.1	1
	宝鸡市陈仓区 Chencang, Baoji	380	0~25(12)	2	2.98	1
湖北省 Hubei	天门市 Tianmen	2 250	18~90(54.7)	5	96.6	5
	潜江市 Qianjiang	11 250	21.2~42(29.9)	3	40.5	5
河南省 Henan	驻马店市平舆县 Pingyu,Zhumadian	100	70~90(81)	5	78.8	5
安徽省 Anhui	淮南市凤台县 Fengtai, Huainan	140	95~100(98)	5	56.8	5

1) 实际病穗率下 $X \sim Y(Z)$ 中, $X \sim Y$ 代表病穗率范围, Z 代表病穗率平均值; 湖北省数据为当地植保站调查结果。
In the actual disease rate $X - Y (Z)$, $X - Y$ represents the range of disease rate, and Z represents the average disease rate. Data in Hubei province were surveyed by local plant protection station.

2.3 小麦赤霉自动监测预警系统预测准确性评价

将田间实际调查病穗率与预测病穗率转换的流行等级值按照肖悦岩^[23]建立的预测预报准确性评价方法进行计算,得到 2018 年小麦赤霉病自动监测预警系统的预测准确率为 71.8%,对小麦赤霉病的防控具有一定的指导意义。

3 讨论

2012 年胡小平教授课题组研发出我国首款小麦赤霉病自动监测预报器,这款预报器只需要输入初始菌源与抽穗期,就可实现小麦赤霉病的自动监测预警,目前已推广至陕西、内蒙古、河南、山西、安徽、江苏、山东、湖北、青海等省/自治区。2016 年,陕西省植物保护工作站对陕西关中地区该系统的预报准确性进行了评价,预测准确率为 94.4%^[24];2017 年,陕西省渭南市华州区植保站及安徽省淮南市凤台县植保站分别对预报的准确性进行了评价,准确率分别为 96%^[25]和 100%^[26];2018 年,陕西省商洛市洛南县植保站和西安市植保站分别对预报的准确性进行了评价,准确率分别为 80%^[27]和 100%^[28]。但上述研究均是针对局部地区预测准确性评价,对于大范围不同生态区域尚未见研究

报道。本研究通过调查并统计江苏、陕西、湖北、河南、安徽 5 省的赤霉病病穗率,与预测结果进行比较,并利用肖悦岩的最大误差参照法^[23]对小麦赤霉病自动监测预警系统综合评价,准确率为 71.8%。

小麦赤霉病自动监测预警系统是基于环境因子及菌源量等相关因子建立的。因此,即使是同一市,由于小气候的影响,环境因子出现差异,该系统也能通过预报器实时记录周边的环境因子数据,从而进行准确的预测。例如陕西省渭南市临渭区预测流行等级为 1 级,同市蒲城县预测流行等级为 5 级。经过实际调查发现,临渭区实际流行等级为 2 级,蒲城县实际流行等级为 5 级。由此表明,该系统能够准确预测预报器周边麦田病穗率,指导病害防治。但是对于同一生态区域预报器预测的范围,需要进一步研究。

2018 年,该系统预测准确性较往年偏低,误差主要来源于陕西省部分监测点,若除去陕西省数据,准确率上升至 83.3%,而陕西关中地区 10 个监测点的预测准确率仅为 62.5%,这可能与多种因素相关,可能是因为初始菌源量、仪器安放位置等因素的影响,也有可能是品种抗病性的差异所致。

参考文献

[1] XU Xiangming, MADDEN L V, EDWARDS S G, et al. Developing logistic models to relate the accumulation of DON associated with *Fusarium* head blight to climatic conditions in Europe [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2013, 137: 689 - 706.

[2] HOOKER D C, SCHAAFSMA A W, TAMBURIC-ILINCIC L. Using weather variables pre and post-heading to predict deoxynivalenol content in winter wheat [J]. *Plant Disease*, 2002, 86: 611 - 619.

[3] NITA M, DE WOLF E, MADDEN L V, et al. Use of mechanistic simulation models to predict disease intensity of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol concentration [J]. *Phytopathology*, 2008, 98: S113.

[4] MOSCHINI R C, PIOLI R, CARMONA M, et al. Empirical predictions of *Fusarium* head blight in the northern Argentinean Pampas region [J]. *Crop Science*, 2001, 41: 1541 - 1545.

[5] TURKINGTON K, OLFERTO O, WEISSR M, et al. Forecasting the potential distribution and severity of *Fusarium* head blight in the prairie region of Canada, using CLIMEX™ modeling and historical and future weather conditions [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2004, 26(3): 425.

[6] DE WOLF E D, MADDEN L V, LIPPS P E. Risk assessment models for wheat *Fusarium* head blight epidemics based on within-season weather data [J]. *Phytopathology*, 2003, 93: 428 - 435.

[7] SHAH D A, MOLINEROS J E, PAUL P A, et al. Predicting *Fusarium* head blight epidemics with weather-driven pre and post-anthesis logistic regression models [J]. *Phytopathology*, 2013, 103: 906 - 919.

[8] MADDEN L V, PAUL P A. Assessing heterogeneity in the relationship between wheat yield and *Fusarium* head blight intensity using random-coefficient mixed models [J]. *Phytopathology*, 2009, 99: 850 - 860.

[9] 上田进. 麦类赤霉病的预测[J]. *农业与园艺*, 1973, 48(6): 843 - 844

[10] 肖晶晶, 霍治国, 李娜, 等. 小麦赤霉病气象环境成因研究进展[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(2): 146 - 152.

[11] 徐崇浩, 何险峰, 刘富明, 等. 四川小麦赤霉病流行的气象条件及其时空分布规律和大气环流背景[J]. *西南农业学报*, 1996, 9(3): 60 - 67.

[12] 汤志成, 居为民. 地球极移变形力及大气环流因子在小麦赤霉病预报中的应用[J]. *植物保护*, 1989, 15(2): 5 - 8.

[13] 居为民, 高苹. 赤道太平洋海温异常对太湖地区小麦赤霉病的影响[J]. *气象科学*, 2000, 20(4): 511 - 515.

[14] 高苹, 居为民, 陈宁, 等. 人工神经网络方法在赤霉病预报中的应用研究[J]. *中国农业气象*, 2001, 22(2): 22 - 25.

[15] 姚彩文, 赵圣菊, 杨素钦. 厄尔尼诺现象与小麦赤霉病流行初探[J]. *病虫测报*, 1988(1): 60 - 62.

[16] 陈将赞, 戴以太, 杨廉伟. 小麦赤霉病病穗率的预测模型[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(1): 93 - 94.

[17] 张汉琳. 气象因素与麦类赤霉病群体流行波动研究[J]. *气象学报*, 1987, 45(3): 338 - 345.

[18] 章强华. 麦类赤霉病流行电算模拟模型的设想[J]. *病虫测报参考资料*, 1981(2): 7 - 15.

[19] 张文军. 小麦赤霉病流行动态的控制论模型[J]. *生物数学学报*, 1996, 11(3): 111 - 116.

[20] 张平平, 宋金东, 冯小军, 等. 关中麦田产壳玉米秸秆密度与小麦赤霉病穗率的关系[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(7): 1022 - 1028.

[21] 张平平. 关中地区小麦赤霉病预测系统. [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.

[22] 中华人民共和国农业部. 小麦赤霉病测报技术规范: GB/T 15796-2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.

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

[24] 袁冬贞, 崔章静, 杨桦, 等. 基于物联网的小麦赤霉病自动监测预警系统应用效果[J]. *中国植保导刊*, 2017, 37(1): 46 - 51.

[25] 郭蕾. 渭南市华州区小麦赤霉病远程实时监测预警系统试验[J]. *农业科技通讯*, 2017(10): 87 - 89.

[26] 孙友武, 蔡广成, 夏风, 等. 小麦赤霉病自动监测预警系统的应用效果[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(16): 143 - 144.

[27] 杨慧霞, 梁晓青, 陈恩霞, 等. 洛南县小麦赤霉病远程实时监测预警系统试验研究[J]. *基层农技推广*, 2018, 6(12): 29 - 31.

[28] 杨洁, 徐进, 张小飞, 等. 西安地区小麦赤霉病自动监测预警系统应用效果[J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(2): 50 - 52.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 193 页)

[41] 高孝华, 时爱菊, 曲耀训, 等. 龟纹瓢虫捕食棉蚜的功能反应与寻找效应研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2001, 32(4): 457 - 460.

[42] 李建军, 李修炼, 成卫宁. 龟纹瓢虫成虫对麦红吸浆虫捕食作用研究[J]. *陕西农业科学*, 2000(11): 8 - 10.

[43] 辛肇军, 卓德干, 李照会. 龟纹瓢虫成虫对亚洲玉米螟卵的捕食作用[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2011, 42(2): 191 - 193.

[44] PUMHAN N, TIAN M, XU L L, et al. Effects of heat stress and exposure duration on survival characteristics of different developmental stages of *Propylaea japonica*, a dominant aphidophagous ladybeetle in China [J/OL]. *Crop Protection*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105054>.

[45] 闫占峰, 张聪, 王振营, 等. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜功能反应研究[J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(1): 139 - 142.

(责任编辑: 杨明丽)