草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估

秦誉嘉[1]， 杨冬才[1]， 康德琳[1]， 赵紫华[1]， 赵中华[2]， 杨普云[2]， 李志红[1*]

（1. 中国农业大学植物保护学院，北京 100193；2. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125）

摘要 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*，又称秋黏虫，起源于美洲。自 2019 年 1 月入侵我国云南以来，目前已扩散至我国 25 个省、市(区)。目前在我国发现的草地贪夜蛾主要为害玉米，本研究在收集了草地贪夜蛾的为害及防治情况，玉米的产量、面积、价格等相关数据的基础上，利用随机模型@RISK 分别预测了其在防治与不防治场景下对我国玉米产业的潜在经济损失。结果表明，在不防治场景下，草地贪夜蛾对我国玉米的潜在经济损失总量的 90%置信区间为 375.68 亿～3 283.45 亿元，投入防治后可挽回的潜在经济损失 90%置信区间为 254.78 亿～2 918.93亿元。因此，为保护我国玉米种植业的安全生产，应加强田间防治来降低其对我国玉米产业造成的潜在经济损失。

关键词 草地贪夜蛾； 玉米； @RISK； 潜在经济损失

中图分类号： S 435 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019528

Potential economic loss assessment of maize industry caused by fall armyworm（*Spodoptera frugiperda*）in China

QIN Yujia[1]， YANG Dongcai[1]， KANG Delin[1]， ZHAO Zihua[1]，
ZHAO Zhonghua[2]， YANG Puyun[2]， LI Zhihong[1*]

（1. *College of Plant Protection*，*China Agricultural University*，*Beijing* 100193，*China*；
2. *National Agro-tech Extension and Service Center*，*Beijing* 100125，*China*）

Abstract Fall armyworm，*Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith），native to America，has invaded China in the early of 2019，and spread to 25 provinces till now，mainly damaged maize in China. In this study，the data on the occurrence area of fall armyworm and damaged area of maize by this pest，as well as the growing areas，yields，and prices of maize in China were collected，and then the potential economic loss of maize caused by fall armyworm under control and non-control conditions were predicted using the random model @RISK. The results showed that under non-control scenario，the potential economic loss of maize will be 37.568 billion－328.345 billion RMB（90% confidence interval），but about 25.478 billion－291.893 billion RMB（90% confidence interval）losses will be retrieved if the pest be effectively controlled. Therefore，field control strategies should be strengthened in order to protect the maize industry and reduce the economic loss in China.

Key words *Spodoptera frugiperda*； maize； @RISK； potential economic loss

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）（鳞翅目：夜蛾科）也称秋黏虫，原产于美洲热带和亚热带地区，2016 年初首次入侵中非和西非，现已遍布非洲撒哈拉以南地区，2018 年登陆印度大陆，现已入侵也门、孟加拉国、泰国、缅甸、斯里兰卡、印度尼西亚、老挝、马来西亚、尼泊尔、越南、日本和韩国[1]。该虫自 2019 年 1 月在我国云南发现，截至今年 9 月已扩散至 25 个省、市(区)[2]。潜在地理分布预测结果表明，在春夏秋三季，我国北部辽宁、河北、北京、天津、山西、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃、青海、新疆等均为草地贪夜蛾的适生区[3]。

草地贪夜蛾喜食玉米，此外还可取食 300 多种植物，包括水稻、高粱、粟、甘蔗、蔬菜作物和棉花[4]，目前在我国其主要为害玉米。在没有防控措施的情

收稿日期： 2019－09－29 **修订日期：** 2019－10－24
基金项目： 中欧国际贸易重要仓储害虫入侵机制与检疫技术体系(2018YFE0108700)
* 通信作者 E-mail：lizh@cau.edu.cn

况下，草地贪夜蛾在非洲的12个玉米生产国每年可造成830万～2 060万t的损失，相当于这些国家3年平均玉米产量的21%～53%，潜在经济损失可达24.81亿～61.87亿美元[5]。我国是玉米生产大国，2017年我国玉米产量为2.592 3亿t，居世界第二[6]。鉴于草地贪夜蛾在我国扩散速度之快，潜在地理分布之广，明确其对我国玉米产业造成的潜在经济损失尤为重要。

基于@RISK的随机模型预测有害生物潜在经济损失已广泛应用于梨火疫病菌 *Erwinia amylovora*[7]、香蕉束顶病毒 *Banana bunchy top virus*[8]、南亚果实蝇 *Zeugodacus tau*[9]、紫茎泽兰 *Ageratina adenophora*[10]、白纹伊蚊 *Aedes albopictus*[11]、葡萄霜霉菌 *Plasmopara viticola*[12]、瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae*[13]、辣椒实蝇 *Bactrocera latifrons*[14]等多种有害生物对相关产业造成的经济损失评估。本研究利用@RISK软件及随机模拟方法，预测了防治场景和不防治场景下草地贪夜蛾可能给我国玉米产业带来的潜在直接经济损失及防治后能挽回的经济损失，以期为该虫的防控提供进一步的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

主要数据与来源：草地贪夜蛾适生区玉米年产量、种植面积数据来源于国家统计局(http://data.stats.gov.cn)并结合了草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布结果[3]；草地贪夜蛾对玉米的为害率数据以及受草地贪夜蛾为害的玉米单位种植面积产量损失率数据来源于文献[15-17]；玉米的市场价格水平数据来源于农业农村部重点农产品市场信息平台(http://zdscxx.moa.gov.cn)；单位玉米疫区防治成本、防治效果、效益校正系数等数据来源于文献[18]。

软件工具：@RISK是一种嵌入Excel中采用蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟来进行风险分析的软件，在任意场景下计算出各种可能性出现的结果和发生的概率，对风险的不确定性进行定量预测。@RISK工具常用的概率分布有Pert分布、正态分布、三角分布等多种分布函数，此外，灵敏性分析可以对最重要的风险驱动因子进行识别和排序，确定对输出结果影响最大的输入变量。本研究使用@RISK 7.5版本(http://www.palisade.com/risk/)，模型中设置迭代次数为100 000次。

1.2 方法

本研究分别构建了不防治和防治两种场景下草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估模型，具体的节点、输入变量、模型及参数如表1所示，参数确定过程具体如下：

草地贪夜蛾适生区玉米年产量 Q_1：根据国家统计局2013年－2017年我国各省5年的玉米产量数据并结合草地贪夜蛾在各省的适生比例[3]计算出5年内草地贪夜蛾适生区玉米年产量最小值、最可能值、最大值分别为9 906.27万、10 547.22万、12 210.29万t，根据数据特点，利用Pert函数进行拟合，即Pert (9 906.27，10 547.22，12 210.29)万t。

草地贪夜蛾对玉米的为害率 I：根据草地贪夜蛾实地调查结果，受害株率为4%～97%[15]，即Pert (4%，51%，97%)。

草地贪夜蛾为害导致的玉米产量损失率 R：根据文献报道，如果不加控制，草地贪夜蛾可导致玉米减产45%[16]，在一些地区损失可达100%[17]，即Pert (45%，72.5%，100%)。

玉米的市场价格水平 Pc：根据农业农村部重点农产品市场信息平台2018年的玉米价格数据，利用Pert函数进行拟合，即Pert(1 930，1 985.83，2 030)元/t。

草地贪夜蛾适生区玉米种植面积 S：根据国家统计局2013年－2017年玉米在我国各省的种植面积数据并结合草地贪夜蛾在各省的适生比例[3]计算出5年内草地贪夜蛾适生区玉米种植面积最小值、最可能值、最大值分别为18 043.17千、19 038.95千、21 546.33千 hm^2，利用Pert函数进行拟合，即Pert (18 043.17，19 038.95，21 546.33)$\times 10^3$ hm^2。

单位面积的防治成本 C：根据草地贪夜蛾的常规杀虫剂组合[18]折算出单位面积草地贪夜蛾的防治成本，即Pert (124.95，578.36，1 668.75)元/hm^2。

防治效果 M：根据草地贪夜蛾的常规杀虫剂组合[18]的防效试验，折算出草地贪夜蛾的防治效果，即Pert (67.87%，81.86%，95.85%)。

2 结果与分析

2.1 不防治场景下的经济损失评估

在不防治场景下，草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失总量即玉米产量下降引起的潜在经济损失的90%置信区间为375.68亿～3 283.45亿

元(表 2)。在不防治场景下,草地贪夜蛾对玉米的为害率是影响草地贪夜蛾对我国玉米产业潜在经济损失的最大变量,玉米受草地贪夜蛾为害后产量损失率次之(图 1)。

表 1　草地贪夜蛾对中国玉米产业的潜在经济损失评估模型及参数

Table 1　Potential economic loss assessment model and parameters of Chinese maize industry caused by fall armyworm

场景 Scenario		输入变量 Input variable	模型及参数 Model and parameter
不防治场景 Non control scenario	产量下降引起的潜在经济损失 F_1 Economic loss caused by yield decline F_1	草地贪夜蛾适生区玉米年产量 Q_1	Pert (9 906.27,10 547.22,12 210.29)万 t
		草地贪夜蛾对玉米的为害率 I	Pert (4%,51%,97%)
		草地贪夜蛾对玉米为害后产量损失率 R	Pert (45%,72.5%,100%)
		玉米的市场价格水平 P_C	Pert (1 930,1 985.83,2 030)元/t
		不防治场景下经济损失总量 F_1	$F_1=Q_1\times I\times R\times P_c/(1-IR)$
防治场景 Control scenario	防治费用 F_{21} Control costs F_{21}	草地贪夜蛾适生区中玉米种植面积 S	Pert (18 043.17,19 038.95,21 546.33)$\times 10^3$ hm^2
		单位面积的防治成本 C	Pert (124.95,578.36,1 668.75)元/hm^2
		防治费用支出 F_{21}	$F_{21}=S\times I\times C$
	投入防治潜在经济损失 F_{22} Potential economic loss after control F_{22}	单位适生区面积玉米产量 A	$A=Q_1/S$
		防治效果 M	Pert (67.87%,81.86%,95.85%)
		效益校正系数 D	2
		经济损害允许水平 E	$E=C/(A\times M\times P_c)\times D\times 100\%$
		防治后直接经济损失 F_{22}	$F_{22}=Q_1\times I\times E\times P_c/(1-IE)$
		防治场景下的经济损失总量 F_2	$F_2=F_{21}+F_{22}$
投入防治后可挽回潜在经济损失 Retrievable potential economic loss after control		投入防治后可挽回潜在经济损失 F_3	挽回损失 F_3

表 2　不防治场景下草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失

Table 2　Potential economic loss of Chinese maize industry caused by fall armyworm under non control scenario

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	90%置信区间/亿元 90% confidence interval	平均值/亿元 Average value
F_1	不防治场景下潜在经济损失总量-产量下降引起的潜在经济损失 Potential economic loss under non control-economic loss caused by yield decline	$F_{11}=Q_1\times I\times R\times Pc$	375.68～3 283.45	1 432.26

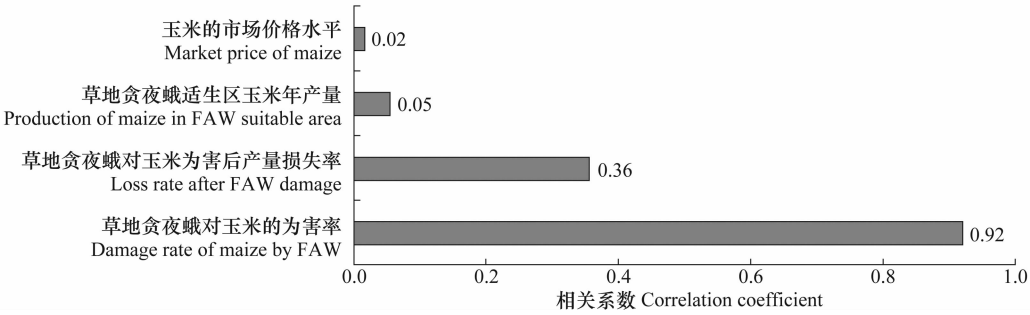

图 1　不防治场景下影响潜在经济损失的变量灵敏性分析

Fig. 1　Sensitivity analysis of variables affecting the potential economic loss under non control scenario

2.2　防治场景下的经济损失评估

在防治场景下,草地贪夜蛾的防治费用支出量的 90%置信区间在 18.94 亿～138.47 亿元之间,投入防治后草地贪夜蛾对玉米的潜在经济损失的 90%置信区间在 47.10 亿～405.87 亿元之间,草地贪夜蛾对玉米的潜在经济损失总量 90%置信区间在 66.14 亿～543.74 亿元之间(表 3)。在防治场景下,草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失影响最大的变量是单位面积的防治成本,其次是草地贪夜蛾对玉米的为害率(图 2)。

表 3 防治场景下草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失

Table 3 Potential economic loss of Chinese maize industry caused by fall armyworm under control scenario

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	90%置信区间/亿元 90% confidence interval	平均值/亿元 Average value
F_{21}	防治费用支出量 Control costs	$F_{21}=S\times I\times C$	18.94～138.47	66.67
F_{22}	投入防治后潜在经济损失 Potential economic loss after control	$F_{22}=Q_1\times I\times E\times Pc$	47.10～405.87	182.57
F_2	防治场景下的潜在经济损失总量 Potential economic loss under control scenario	$F_2=F_{21}+F_{22}$	66.14～543.74	249.23

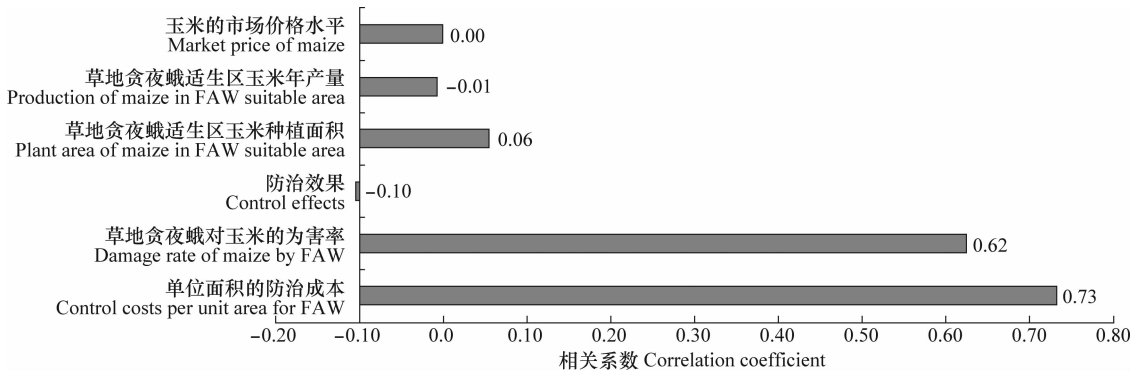

图 2 防治场景下影响潜在经济损失的变量灵敏性分析

Fig. 2 Sensitivity analysis of variables affecting the potential economic loss under control scenario

2.3 可挽回的经济损失评估

投入防治后，可以挽回的经济损失的 90%置信区间为 254.78 亿～2 918.93 亿元(表 4)。对投入防治后可挽回经济损失影响最大的变量是草地贪夜蛾对玉米的为害率，其次为玉米受害后产量损失率(图 3)。

表 4 投入防治后可挽回的草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失

Table 4 Retrievable economic loss of Chinese maize industry caused by fall armyworm after control

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	90%置信区间/亿元 90% confidence interval	平均值/亿元 Average value
F_3	投入防治后可挽回潜在经济损失总量 Retrievable potential economic loss after control	$F_3=F_1-F_2$	254.78～2 918.93	1 183.03

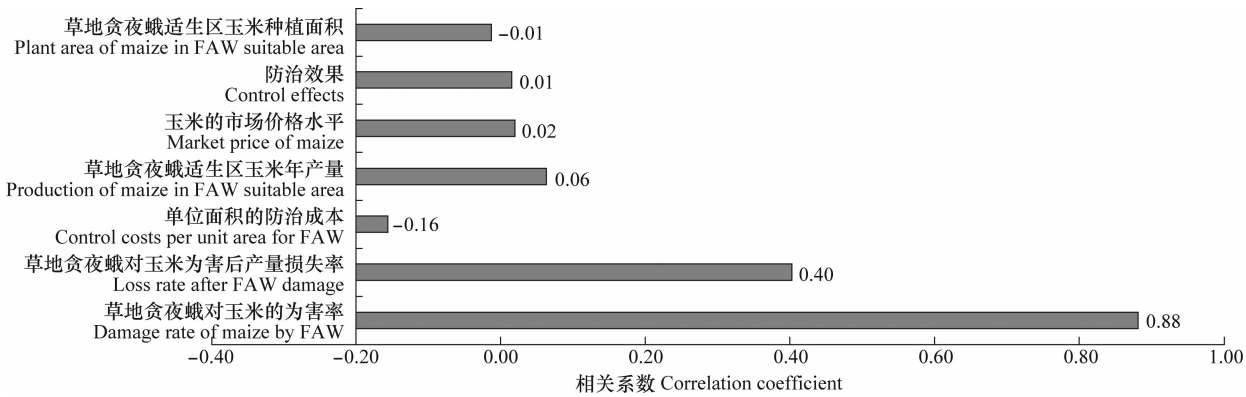

图 3 投入防治后影响可挽回潜在经济损失的变量灵敏性分析

Fig. 3 Sensitivity analysis of variables affecting the retrievable potential economic loss after control

3 讨论

我国为世界第二大玉米生产国，热带和南亚热带地区，如云南、广西、广东、海南等地的玉米可为草地贪夜蛾的周年发生提供充足的食物来源，西南-华北-东北产区可为该虫提供季节性发生的食物来

源[19]。本研究结果表明,平均投入 66.67 亿元的防治成本可挽回 1 183.03 亿元的经济损失,约为防治成本的 17.74 倍。由灵敏性分析可知草地贪夜蛾的为害率为可挽回经济损失的关键输入变量,坚持"治早治小、全力扑杀"[2]可有效降低玉米受害数量,从而降低经济损失;而在防治场景下除草地贪夜蛾的为害率,草地贪夜蛾的单位面积防治成本也为关键输入变量,本研究主要参考常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性[18],目前农业农村部提出了 25 种应急使用的农药产品,科学经济用药也是增加挽回损失的重要手段[20]。

草地贪夜蛾通过取食叶片、钻蛀雄穗、果穗甚至茎秆为害玉米,苗期至成熟期玉米都可被其为害[21],本研究并未考虑质量下降造成的经济损失,即由于玉米的市场价格降低造成的经济损失,而主要考虑由于产量下降造成的经济损失。本研究采用蒙特卡罗随机抽样方法进行模拟,没有利用部分数据做测试集来检验模型拟合优度,输入变量中防治成本缺少对于人工及机械折旧费等的计算,未来可通过实地调查或田间试验,结合实际设置节点,优化输入变量的模型及参数,并对模型的预测结果进行验证。

草地贪夜蛾可为害 300 余种寄主[4],本研究只预测了草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在损失,虽然目前入侵我国的草地贪夜蛾尚为玉米型,但美洲与非洲均已发现水稻型[22-23],基于线粒体 *CO*Ⅰ基因分析结果显示中国不同地区的草地贪夜蛾多数为水稻型[24],因此建议未来分别针对水稻、甘蔗、花生等寄主开展经济损失评估,通过详细的风险评估,为相关部门提供更完善的防控措施建议。

参考文献

[1] 刘刚. 全国农技中心通报我国及周边国家草地贪夜蛾发生为害情况[J]. 农药市场信息,2019(9):59.

[2] 农业农村部就草地贪夜蛾防控工作举行新闻发布会[EB/OL]. (2019-09-17)[2019-10-28]. http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/cdtyefk

[3] 秦誉嘉,蓝帅,赵紫华,等. 迁飞性草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布[J]. 植物保护,2019,45(4):43-47.

[4] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas[J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.

[5] DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa [J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5): 196-201.

[6] FAO. FAOSTAT [DB/OL]. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. 2018.

[7] COOK D C, CARRASCO L R, PAINI D R, et al. Estimating the social welfare effects of New Zealand apple imports [J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2011, 55(4): 599-620.

[8] COOK D C, LIU S, EDWARDS J, et al. Predicting the benefits of banana bunchy top virus exclusion from commercial plantations in Australia [J/OL]. PLoS ONE, 2012, 7(8): e42391.

[9] 方焱,李志红,秦萌,等. 南亚果实蝇对我国南瓜产业的潜在经济损失评估[J]. 植物检疫,2015,29(3):28-33.

[10] 方焱,秦萌,李志红,等. 紫茎泽兰对我国花生产业造成的潜在经济损失评估[J]. 中国农业大学学报,2015,20(6):146-151.

[11] DARBRO J, HALASA Y, MONTGOMERY B, et al. An economic analysis of the threats posed by the establishment of *Aedes albopictus*, in Brisbane, Queensland [J]. Ecological Economics, 2017, 142: 203-213.

[12] TAYLOR A S, COOK D C. An economic assessment of the impact on the Western Australian viticulture industry from the incursion of grapevine downy mildew [J]. Journal of Plant Diseases & Protection, 2018, 125(4): 1-7.

[13] 孙宏禹,秦誉嘉,方焱,等. 基于@RISK 的瓜实蝇对我国苦瓜产业的潜在经济损失评估[J]. 植物检疫,2018,32(6):64-69.

[14] 康德琳,孙宏禹,秦誉嘉,等. 基于@RISK 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估[J]. 应用昆虫学报,2019,56(3):500-507.

[15] 赵雪晴,屈天尧,李亚红,等. 2019 年云南省草地贪夜蛾春夏季发生特征[J]. 植物保护,2019,45(5):84-90.

[16] HRUSKA A J, GLADSTONE S M. Effect of period and level of infestation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on irrigated maize yield [J]. Florida Entomologist, 1988, 71(3): 249-254.

[17] BLANCO CA, CHIARAVALLE W, DALLA-RIZZA M, et al. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America [J]. Current Opinion in Insect Science, 2016, 15: 131-138.

[18] 金涛,林玉英,马光昌,等. 常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性评价[J]. 环境昆虫学报,2019,41(4):766-774.

[19] 吴秋琳,姜玉英,胡高,等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护,2019,45(3):1-9.

[20] 农业农村部紧急推荐 25 种草地贪夜蛾应急防治用药[J]. 中国植保导刊,2019,39(6):91.

[21] 刘杰,姜玉英,吴秋琳. 我国草地贪夜蛾冬春季发生为害特点及下半年发生趋势分析[J]. 中国植保导刊,2019,39(7):36-38.

[22] DUMAS P, LEGEAI F, LEMAITRE C, et al. *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species? [J]. Genetica, 2015, 143(3): 305-316.

[23] COCK M J, BESEH P K, BUDDIE A G, et al. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries [J/OL]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 4103.

[24] 张磊,柳贝,姜玉英,等. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析[J]. 植物保护,2019,45(4):20-27.

(责任编辑:杨明丽)