

# 草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失评估

徐艳玲 李昭原 陈 杰 李志红 秦誉嘉\*

(中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193)

**摘要:** 为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 入侵是否会对我国小麦生产造成较大影响, 通过从文献及国家统计局、中国粮油信息网收集草地贪夜蛾在我国的为害及防治相关数据与小麦的种植面积、产量及价格等相关数据的基础上, 利用随机模型@RISK 分别预测其在不防治场景与防治场景下对我国小麦产业造成的潜在经济损失。结果显示, 如果在草地贪夜蛾入侵我国后不进行防治场景下, 其对小麦生产造成的潜在经济损失总量的 90% 置信区间为 1 023.44 亿~5 299.79 亿元, 此情景下草地贪夜蛾对小麦的为害率是影响我国小麦产业潜在经济损失最大的变量; 而在草地贪夜蛾入侵后投入防治场景下, 其对小麦生产造成的潜在经济损失总量的 90% 置信区间为 109.24 亿~631.66 亿元, 单位面积防治成本是影响我国小麦产业潜在经济损失的关键输入变量; 可挽回的经济损失总量的 90% 置信区间为 779.07 亿~4 903.97 亿元, 对其影响最大的变量是草地贪夜蛾对小麦的为害率。表明在草地贪夜蛾入侵我国的现实条件下, 应积极增强对草地贪夜蛾的防控力度, 以降低其对我国小麦产业造成的潜在经济损失。

**关键词:** 草地贪夜蛾; 小麦; 随机模型@RISK; 潜在经济损失

## Assessment of potential economic loss of wheat industry caused by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in China

XU Yanling LI Zhaoyuan CHEN Jie LI Zhihong QIN Yujia\*

(Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** To find out whether the invasion of the fall armyworm (FAW) *Spodoptera frugiperda* has a great impact on the Chinese wheat production, the data related to the damage and control of fall armyworm in China, plant area, yield of wheat and price data of wheat were collected from literatures and the National Bureau of Statistics and China Grain and Oil Information Network, and the potential economic loss of the Chinese wheat industry was predicted by using the random model @RISK under the scenarios of non-control and control. The results showed that under non-control scenario, after the invasion, the potential economic loss of Chinese wheat caused by fall armyworm was 102.344 billion–529.979 billion Yuan (90% confidence interval), and the damage rate of wheat by fall armyworm was the key variable affecting the potential economic loss of wheat industry in China. Under control scenario, the potential loss was 10.924 billion–63.166 billion Yuan (90% confidence interval), and the control cost per unit area for fall armyworm was the key input variable; the potential economic loss that can be retrieved after investment was 77.907 billion–490.397 billion Yuan (90% confidence interval), and the key variable was the damage rate of wheat by fall armyworm. The results suggested that, under the current invasion conditions, the control of the fall armyworm should be strengthened to reduce the potential

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFE0108700)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: qinyujia@cau.edu.cn

收稿日期: 2020-04-28

economic loss to the wheat industry.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*; wheat; the random model @RISK; potential economic loss

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 原产于美洲, 具有很强的繁殖能力和迁飞扩散能力(谢明惠等, 2020)。该虫于2016年首次入侵非洲西南部地区, 目前已经扩散至撒哈拉以南的整个非洲地区及亚洲的印度等国家; 2019年1月自缅甸入侵我国云南省和广西壮族自治区(吴秋琳等, 2019), 截至2019年12月31日, 已扩散至我国26个省1524个县(<https://www.natesc.org.cn/>)。草地贪夜蛾是重要的杂食性农业害虫, 寄主广泛, 可为害300多种寄主, 根据其受害作物的习性, 可将草地贪夜蛾分为2种生态型, 一种是玉米型, 一种是水稻型(张磊等, 2019)。目前, 入侵我国的草地贪夜蛾大多为玉米型, 但王芹芹等(2020)研究发现入侵我国的草地贪夜蛾存在为害小麦的风险, 其在小麦上的存活率高达90%以上, 与在玉米上的存活率无显著差异; 徐丽娜等(2019)在贵州省进行田间调查时发现草地贪夜蛾可以取食自生麦苗; 杨现明等(2020)在云南省寻甸县金源乡也发现草地贪夜蛾为害小麦的现象; 此后, 在安徽省(任学祥等, 2020)和江苏省北部东辛农场(李艳朋等, 2020)相继发现草地贪夜蛾严重为害前茬为玉米的早播小麦。国外也有报道称, 除玉米、黑麦草、高粱以外, 小麦是草地贪夜蛾最常见的产卵寄主之一(Pitre et al., 1983); 而且草地贪夜蛾的人工饲料配方中也含有小麦胚芽粉(Kasten et al., 1978; Bolzan et al., 2019)。因此, 分析草地贪夜蛾入侵对我国小麦生产造成的潜在经济损失具有重要的现实意义。

通常需要借助@RISK软件基于随机模型对有害生物造成的潜在经济损失进行预测。@RISK软件基于蒙特卡罗随机模拟方法, 通过构建不同场景下潜在经济损失模型, 利用各种概率分布对不同场景的结果进行模拟, 进而模拟出有害生物的潜在经济损失(李志红和秦誉嘉, 2018)。该软件操作较简单, 基于概率和数理统计, 可以对多个事件进行串、并联组合模拟, 结果以表格和图形的形式显示(马兴莉等, 2010)。近年来, 国内外均有利用@RISK软件评估入侵生物造成的经济损失的报道, 如方焱等(2015)利用@RISK软件评估了紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* 对花生产业造成的经济损失; Darbro et al.(2017)利用该软件评估了防治白纹伊蚊 *Aedes albopictus* 需要投入的费用; 孙宏禹等(2018)采用该

软件评估了瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 对我国西瓜产业造成的经济损失; Taylor & Cook(2018)同样采用该软件评估了葡萄霜霉菌 *Plasmopara viticola* 给葡萄栽培产业带来的经济损失; 秦誉嘉等(2019a; 2020)则利用该软件评估了樱桃实蝇 *Rhagoletis cerasi* 对甜樱桃产业造成的潜在经济损失和草地贪夜蛾对玉米产业造成的潜在经济损失。因此, 本研究拟利用随机模型@RISK评估草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失。

小麦是世界性的重要粮食作物(刘素花, 2020), 我国又是世界第一小麦生产大国, 据统计, 2018年我国小麦产量为1.3145亿t(<http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC>)。据全国农业技术推广中心病虫害测报处报道, 2020年将是草地贪夜蛾发生为害的关键年, 明确其对我国小麦产业造成的潜在经济损失, 可以为植物保护相关部门制定草地贪夜蛾监测防治措施提供基础数据。本研究通过收集草地贪夜蛾在我国的为害及防治相关数据与小麦的种植面积、产量及价格等相关数据, 利用@RISK软件预测不防治场景和防治场景下草地贪夜蛾可能给我国小麦产业带来的潜在经济损失以及防治后所能挽回的经济损失, 以期制定有效的草地贪夜蛾综合防控措施提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试数据来源: 基于草地贪夜蛾在我国的潜在适生区预测结果(秦誉嘉等, 2019b), 通过国家统计局(<http://data.stats.gov.cn>)下载获得草地贪夜蛾潜在适生区的小麦种植面积及年产量; 通过郑群等(2019)和杨现明等(2020)研究结果整理获得草地贪夜蛾对小麦的为害率及受其为害的小麦单位种植面积产量损失率; 通过中国粮油信息网(<http://m.chinagrains.com/homeList.htm>)调查、整理获得小麦的市场价格; 参考金涛等(2019)研究结果整理获得单位小麦疫区防治成本、防治效果、效益校正系数等数据。

软件工具: 本研究使用的主要软件工具是由美国Palisade公司开发的@RISK软件, 该软件是中国农业大学植物检疫与入侵生物学实验室购买的正版@RISK 7.5软件, 加载在Microsoft Excel中运行, 设置迭代次数为100000次, 模拟次数为1。

## 1.2 方法

针对草地贪夜蛾可能给我国小麦产业造成的直接经济损失,本研究分别通过构建不防治和防治2种场景来进行分析评估。

### 1.2.1 不防治场景下经济损失评估模型的构建

不防治场景下的经济损失总量主要是由草地贪夜蛾为害导致小麦产量下降所引起的潜在经济损失,记为 $F_1$ ,不防治场景下的潜在经济损失总量模型为 $F_1=Q_1 \times I \times R \times P_f / (1 - I \times R)$ ,其中, $Q_1$ 为草地贪夜蛾适生区小麦的年产量,根据国家统计局2014—2018年全国各省5年的小麦产量数据并结合草地贪夜蛾在各省的适生区面积比例(秦誉嘉等,2019b)整理计算得到5年内草地贪夜蛾适生区小麦年产量最小值、最大值分别为10 371.01万t和10 968.53万t,平均值为10 740.61万t,根据数据特点,利用Pert函数进行拟合,即Per(10 371.01万,10 740.61万,10 968.53万)t; $I$ 为草地贪夜蛾对小麦的为害率,根据杨现明等(2020)对云南省寻甸县麦田草地贪夜蛾的实地调查,受害株率为30%~100%,利用Pert函数进行拟合,即Pert(30%,65%,100%); $R$ 为草地贪夜蛾为害导致的小麦产量损失率,目前暂无相关报道,参照草地贪夜蛾为害导致的玉米产量损失率数据,最小值为45%(Hruska & Gladstone, 1988),最大值为100%(Blanco et al., 2016),利用Pert函数进行拟合,即Pert(45%,72.5%,100%); $P_c$ 为小麦市场价格水平,根据中国粮油信息网2014—2018年的调查价格整理得到,是未受草地贪夜蛾为害的小麦市场价格,最高价格为2 290.0元/t,最低价格为2 370.0元/t,平均价格为2 335.8元/t,利用Pert函数进行拟合,即Pert(2 290.0,2 335.8,2 370.0)元/t。

### 1.2.2 防治场景下经济损失评估模型的构建

防治场景下草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失主要是指通过采取防治措施,使小麦产量损失达到经济损害允许水平后所造成的经济损失,记为 $F_2$ ,包括防治草地贪夜蛾所需的费用和投入防治后小麦的经济损失量2方面,防治场景下的潜在经济损失总量模型为 $F_2=F_{21}+F_{22}$ , $F_{21}$ 为防治费用支出量; $F_{22}$ 为防治后的直接经济损失。

防治费用支出量 $F_{21}=S \times I \times C$ ,其中, $S$ 为草地贪夜蛾适生区中小麦的种植面积,根据国家统计局2014—2018年我国各省的小麦种植面积并结合草地贪夜蛾在各省的适生区面积比例(秦誉嘉等,2019b)整理计算得到5年内小麦种植面积的最小

值、最大值分别为19 203.52 $\times 10^3$  hm<sup>2</sup>和19 455.75 $\times 10^3$  hm<sup>2</sup>,平均值为19 341.06 $\times 10^3$  hm<sup>2</sup>,利用Pert函数进行拟合,即Pert(19 203.52 $\times 10^3$ ,19 341.06 $\times 10^3$ ,19 455.75 $\times 10^3$ )hm<sup>2</sup>; $C$ 为单位面积防治成本,针对小麦单位面积草地贪夜蛾的防治成本截至目前未见相关文献报道,参照玉米的单位面积防治成本数据,单位面积草地贪夜蛾的防治成本根据该虫常规杀虫剂组合(金涛等,2019)折算得到,利用Pert函数进行拟合,即Pert(124.95,578.36,1 668.75)元/hm<sup>2</sup>。

防治后的直接经济损失 $F_{22}=Q_1 \times I \times E \times P_f / (1 - I \times E)$ ,其中, $E$ 草地贪夜蛾为害小麦的经济损害允许水平, $E=C / (A \times P_c \times M) \times D \times 100\%$ ,其中, $A$ 为单位适生区面积小麦产量, $A=Q_1 / S$ ; $M$ 为防治效果,采用了玉米上草地贪夜蛾的相关防治数据,根据草地贪夜蛾常规杀虫剂组合的防效试验(金涛等,2019)得到,利用Pert函数进行拟合,即Pert(67.87%,81.86%,95.85%); $D$ 为效益校正系数,一般认为收益是支出的2倍为宜(潘飞等,2014),本研究中 $D$ 为2。

防治场景中会涉及到1个指标,即投入防治后可挽回潜在经济损失,定义为 $F_3$ ,模型为 $F_3=F_1-F_2$ 。

### 1.2.3 变量的灵敏性分析方法

@RISK软件具有灵敏性分析的功能,可以识别最重要的风险驱动因子,并根据其在各场景下对事件整体的贡献大小进行排序,进而确定影响输出结果的关键输入变量(康德琳等,2019)。在草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失评估中,涉及的变量主要包括草地贪夜蛾对小麦的为害率、为害后小麦的产量损失率、单位面积防治成本、适生区小麦年产量及种植面积等。各变量对事件的贡献难以用数字准确计量,故借助斯皮尔曼等级相关系数来描述其贡献的大小(王晓燕和李美洲,2006)。利用@RISK软件通过对各场景下的变量进行灵敏性分析,确定草地贪夜蛾对小麦产业经济损失影响最大的变量,以期有针对性地制定对草地贪夜蛾的防控计划。

## 2 结果与分析

### 2.1 不防治场景下小麦潜在经济损失评估

不防治场景下,草地贪夜蛾对我国小麦产业的潜在经济损失总量的90%置信区间为1 023.44亿~5 299.79亿元,平均值为2 537.50亿元。

### 2.2 防治场景下小麦潜在经济损失评估

防治场景下,防治费用支出量的90%置信区间

在31.03亿~160.69亿元之间,平均值为86.04亿元;投入防治后草地贪夜蛾对小麦造成的直接经济损失的90%置信区间在78.03亿~471.76亿元之间,平均值为235.90亿元;草地贪夜蛾对小麦产业造成的潜在经济损失总量的90%置信区间在109.24亿~631.66亿元之间,平均值为321.94亿元。投入防治后可挽回经济损失总量的90%置信区间为779.07亿~4 903.97亿元,平均值为2 215.55亿元。

### 2.3 模型中变量的灵敏性分析结果

不防治场景下,草地贪夜蛾对小麦的为害率是

影响草地贪夜蛾对我国小麦产业潜在经济损失最大的变量,相关系数达0.81;草地贪夜蛾为害后的小麦产量损失率次之,相关系数为0.55(图1)。在防治场景下,单位面积防治成本是草地贪夜蛾对我国小麦产业潜在经济损失的关键输入变量,相关系数达0.89;其次是草地贪夜蛾对小麦的为害率,相关系数为0.41(图2)。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小麦的为害率,相关系数达0.77;其次为草地贪夜蛾为害后小麦的产量损失率,相关系数为0.58(图3)。

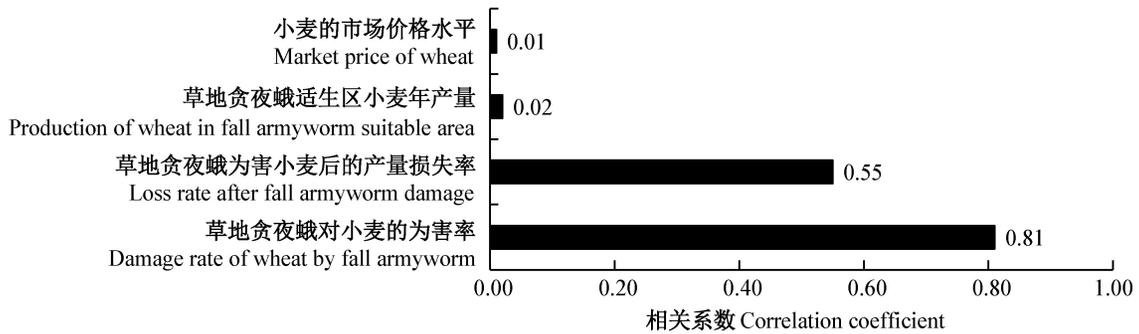


图1 不防治场景下评估草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失的灵敏性分析结果

Fig. 1 Sensitivity analysis results of potential economic loss of wheat industry caused by fall armyworm under the non-control scenario

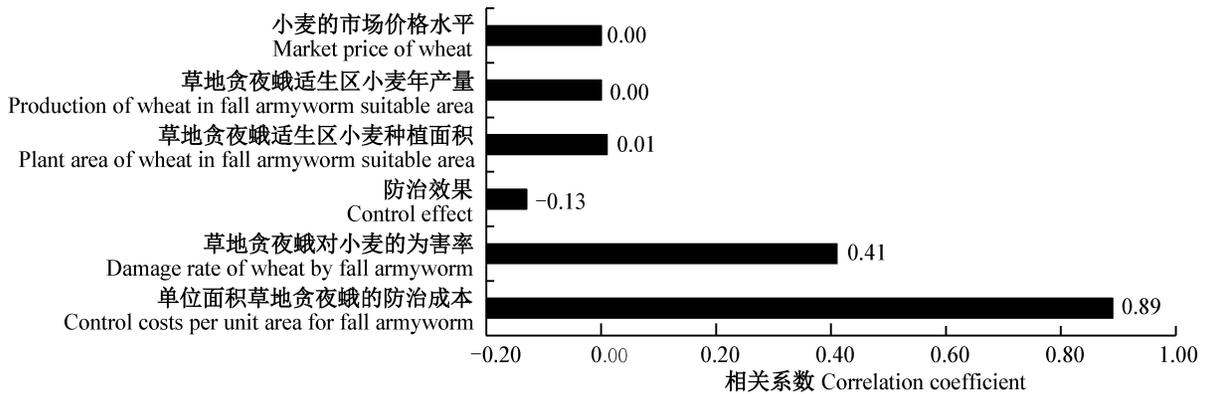


图2 防治场景下评估草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失的灵敏性分析结果

Fig. 2 Sensitivity analysis results of potential economic loss of wheat industry caused by fall armyworm under the control scenario

## 3 讨论

基于@RISK软件预测草地贪夜蛾对我国小麦造成的潜在经济损失,结果显示,在不防治场景下造成的潜在经济损失总量的90%置信区间为1 023.44亿~5 299.79亿元;由灵敏性分析结果可知草地贪夜蛾对小麦的为害率是不防治情景下影响小麦产业潜在经济损失的关键输入变量。草地贪夜蛾寄主广泛,喜食玉米,国外报道称小麦也是草地贪夜蛾最喜产卵的寄主之一(Pitre et al., 1983)。我国是世界第一

小麦生产大国,因此有必要密切关注草地贪夜蛾在小麦上的发生和为害,特别是黄淮海冬小麦-夏玉米轮作区,玉米收获后,当草地贪夜蛾种群密度较高时,转移取食小麦的风险会很大。草地贪夜蛾对小麦的为害率为30%~100%(杨现明等,2020),由此可见在无玉米寄主情况下,草地贪夜蛾会转移取食小麦。据杨现明等(2020)对麦田的调查显示,小麦田草地贪夜蛾幼虫的密度为4.8~105.6头/m<sup>2</sup>,超过了国外研究提出的小麦田防治指标,即虫口密度约为50~65头/m<sup>2</sup>。草地贪夜蛾取食小麦叶片与茎,

表现为“啃光头”的为害状(任学祥等, 2020)。专家预测2020年草地贪夜蛾基数大, 北迁时间要提早, 草地贪夜蛾发生的形势更加严峻(<http://www.moa.gov.cn>), 如不及时对草地贪夜蛾进行大范围的监测与有效的防治控, 则会导致小麦减产, 造成严重的经济损失。

表现为“啃光头”的为害状(任学祥等, 2020)。专家预测2020年草地贪夜蛾基数大, 北迁时间要提早, 草地贪夜蛾发生的形势更加严峻(<http://www.moa.gov.cn>), 如不及时对草地贪夜蛾进行大范围的监测与有效的防治控, 则会导致小麦减产, 造成严重的经济损失。

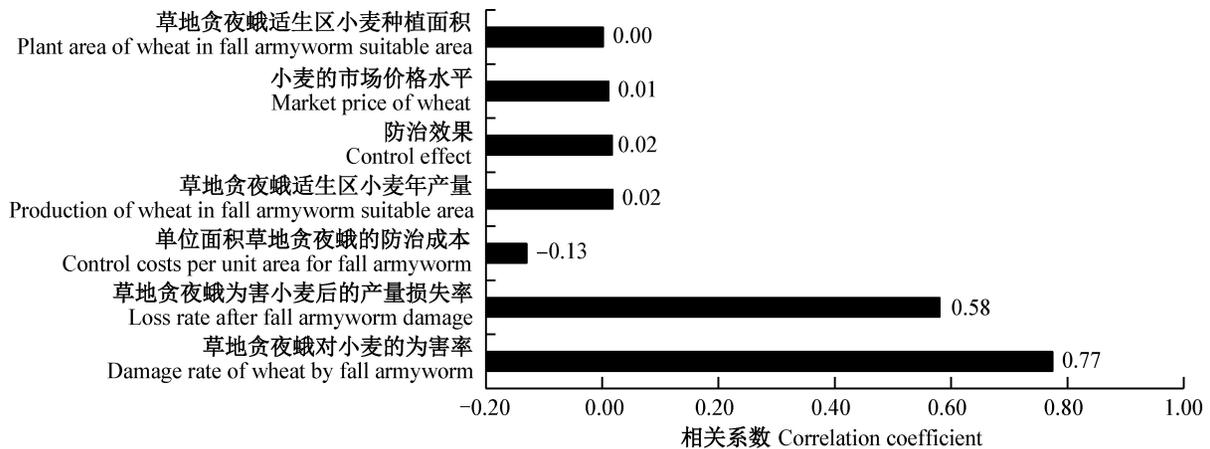


图3 防治场景下草地贪夜蛾对我国小麦产业可挽回经济损失的影响的灵敏性分析结果

Fig. 3 Sensitivity analysis results of the retrievable potential economic loss of wheat industry caused by fall armyworm under the control scenario

在防治场景下, 草地贪夜蛾对小麦生产造成的潜在经济损失总量的90%置信区间为109.24亿~631.66亿元; 可挽回的经济损失总量的90%置信区间为779.07亿~4 903.97亿元。也就是说, 平均投入86.04万元的防治费用就可以挽回2 215.55万元的潜在经济损失, 挽回的经济损失约为投入成本的26倍, 表明可通过田间防治来挽回大量的潜在经济损失。因此, 应加大对草地贪夜蛾的防控力度, 通过田间防治来减少小麦田中草地贪夜蛾的虫源基数, 控制种群数量, 随着时间的推移, 小麦田中草地贪夜蛾的种群数量会变少或上升速度变慢, 小麦受草地贪夜蛾为害的风险会降低。另外, 本研究的灵敏性分析结果显示, 在防治场景下草地贪夜蛾的为害率、草地贪夜蛾的单位面积防治成本为关键输入变量, 因此可以从减轻草地贪夜蛾对小麦的为害及减少对草地贪夜蛾的防治成本投入方面着手以降低其对小麦造成的经济损失。如以种植Bt玉米为核心的综合防治技术体系(吴孔明, 2020), 诱集草地贪夜蛾成虫产卵并杀死孵化的幼虫, 从根源上阻断草地贪夜蛾的扩散与传播为害, 进而降低玉米收获后草地贪夜蛾在小麦上转移为害的风险, 降低小麦的产量损失。其次, 可以大力推广生物防治方法, 引入天敌昆虫, 如赤眼蜂、小花蝽等, 或使用绿僵菌、白僵菌等生物制剂(卢辉等, 2019), 减少对化学农药的使用, 实现低成本、绿色可持续发展。最后, 药剂防治时应注重科学选药, 农业农村部提出了28种应急防治农

药, 推广应用乙基多杀菌素、茚虫威、甲维盐等高效低风险农药(<http://www.moa.gov.cn>), 通过科学经济用药, 降低草地贪夜蛾的单位面积防治成本, 以挽回大量的潜在经济损失。

我国小麦可分为冬小麦、春小麦2种类型, 张智等(2019)研究初步表明草地贪夜蛾具有较强的抗寒能力, 草地贪夜蛾在冬小麦区可以完成越冬, 能为害冬小麦, 这也是本研究未对春小麦、冬小麦进行分类研究的原因所在。由于我国关于小麦田草地贪夜蛾的防治报道较少, 因此草地贪夜蛾对小麦为害后的产量损失率、防治效果、防治成本等数据参照了草地贪夜蛾为害玉米时的相关数据(秦誉嘉等, 2020)。本模型具有一定的局限性, 应加强田间实际调查来完善基础数据的收集, 建议未来针对小麦的田间防治展开工作, 以更加准确的数据对小麦的潜在经济损失进行精准评估, 同时考虑草地贪夜蛾为害的动态变化等因素来完善模型, 为草地贪夜蛾的科学防控提供一定的参考依据。

#### 参考文献 (References)

- BLANCO CA, CHIARAVALLE W, DALLA-RIZZA M, FARIAS JR, GARCIA-DEGANO MF, GASTAMINZA G, MOTA-SANCHEZ D, MURUA MG, OMOTO C, PIERALISI BK, et al. 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. *Current Opinion in Insect Science*, 15: 131-138
- BOLZAN A, EO PADOVEZ F, RB NASCIMENTO A, KAISER IS, LIRA EC, SA AMARAL F, KANNO RH, MALAQUIAS JB,

- OMOTO C. 2019. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. *Pest Management Science*, 75(10): 2682–2689
- DARBRO J, HALASA Y, MONTGOMERY BL, MULLER M, SHEPARD D, DEVINE G, MWEBAZE P. 2017. An economic analysis of the threats posed by the establishment of *Aedes albopictus* in Brisbane, Queensland. *Ecological Economics*, 142: 203–213
- FANG Y, QIN M, LI ZH, QIN YJ, WANG C, ZHAO T, WU ZG. 2015. Potential economic impact of *Ageratina adenophora* (Spreng.) on peanut industry in China. *Journal of China Agricultural University*, 20(6): 146–151 (in Chinese) [方焱, 秦萌, 李志红, 秦誉嘉, 王聪, 赵谈, 吴志刚. 2015. 紫茎泽兰对我国花生产业造成的潜在经济损失评估. *中国农业大学学报*, 20(6): 146–151]
- HRUSKA AJ, GLADSTONE SM. 1988. Effect of period and level of infestation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on irrigated maize yield. *Florida Entomologist*, 71(3): 249–254
- JIN T, LIN YY, MA GC, WEN HB, MA ZL, YI KX, PENG ZQ. 2019. Control efficacy of the combinations of several conventional insecticides on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and their economic. *Journal of Environmental Entomology*, 41(4): 766–774 (in Chinese) [金涛, 林玉英, 马光昌, 温海波, 马子龙, 易克贤, 彭正强. 2019. 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. *环境昆虫学报*, 41(4): 766–774]
- KANG DL, SUN HY, QIN YJ, LU GC, LAN S, LI ZH. 2019. The potential economic loss of chili industry in China caused by *Bactrocera latifrons* (Hendel) based on @RISK. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 500–507 (in Chinese) [康德琳, 孙宏禹, 秦誉嘉, 卢国彩, 蓝帅, 李志红. 2019. 基于@RISK 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估. *应用昆虫学报*, 56(3): 500–507]
- KASTEN P Jr., PRECETTI AACM, PARRA JRP. 1978. Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. *Revista de Agricultura*, 53: 69–78
- LI YP, LI M, LIU HH, XIAO Q, LI XY. 2020. Occurrence and control of *Spodoptera frugiperda* in early sowing wheat field in northern Jiangsu Province. *Plant Protection*, 46(2): 212–215 (in Chinese) [李艳朋, 李猛, 刘鸿恒, 肖琦, 李秀钰. 2020. 草地贪夜蛾在江苏北部早播麦田的发生与防治. *植物保护*, 46(2): 212–215]
- LI ZH, QIN YJ. 2018. Review on the quantitative assessment models for pest risk analysis and their comparison. *Plant Protection*, 44(5): 134–145 (in Chinese) [李志红, 秦誉嘉. 2018. 有害生物风险分析定量评估模型及其比较. *植物保护*, 44(5): 134–145]
- LIU SH. 2020. Development status of strong gluten wheat industry in Xingtai City. *Agriculture and Technology*, 40(2): 162–163, 166 (in Chinese) [刘素花. 2020. 邢台市强筋小麦产业发展现状. *农业与技术*, 40(2): 162–163, 166]
- LU H, TANG JH, LÜ BQ, MA ZL, HE X, CHEN Q, SU H. 2019. Recent advances in biological control and invasion risk of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 40(6): 1237–1244 (in Chinese) [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 马子龙, 何杏, 陈琪, 苏豪. 2019. 草地贪夜蛾的生物防治及潜在入侵风险. *热带作物学报*, 40(6): 1237–1244]
- MA XL, LI ZH, CHEN K, WU JJ, MA J. 2010. The application of @Risk in pest quantitative risk assessment. *Plant Quarantine*, 24(6): 1–6 (in Chinese) [马兴莉, 李志红, 陈克, 吴佳教, 马骏. 2010. @RISK 在有害生物定量风险评估中的应用. *植物检疫*, 24(6): 1–6]
- PAN F, XIAO TB, QIN S, CHEN HY, LIN ZF, XIE SH. 2014. Study on yield of bitter melon damaged by *Bactrocera cucurbitae* and its economic thresholds. *China Plant Protection*, 34(10): 12–15 (in Chinese) [潘飞, 肖彤斌, 秦双, 陈海燕, 林珠凤, 谢圣华. 2014. 瓜实蝇为害对苦瓜产量的影响及其防治指标研究. *中国植保导刊*, 34(10): 12–15]
- PITRE HN, MULROONEY JE, HOGG DB. 1983. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants. *Journal of Economic Entomology*, 76(3): 463–466
- QIN YJ, LAN S, ZHAO ZH, SUN HY, ZHU XM, YANG PY, LI ZH. 2019b. Potential geographical distribution of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 45(4): 43–47, 60 (in Chinese) [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红. 2019b. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. *植物保护*, 45(4): 43–47, 60]
- QIN YJ, LU GC, LIU WQ, LAN S, SUN HY, LI ZH. 2019a. Potential economic loss assessment of sweet cherry caused by *Rhagoletis cerasi* in China. *Plant Quarantine*, 33(6): 59–62 (in Chinese) [秦誉嘉, 卢国彩, 刘玮琦, 蓝帅, 孙宏禹, 李志红. 2019a. 櫻桃绕实蝇对我国甜櫻桃产业的潜在经济损失评估. *植物检疫*, 33(6): 59–62]
- QIN YJ, YANG DC, KANG DL, ZHAO ZH, ZHAO ZH, YANG PY, LI ZH. 2020. Potential economic loss assessment of maize industry caused by fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(1): 69–73 (in Chinese) [秦誉嘉, 杨冬才, 康德琳, 赵紫华, 赵中华, 杨普云, 李志红. 2020. 草地贪夜蛾对我国玉米产业的潜在经济损失评估. *植物保护*, 46(1): 69–73]
- REN XX, HU BJ, SU XY, XU LN, SU WH, QIU K, ZHENG ZY, ZHANG QY, QIU HY, YE ZH. 2020. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, were found damaging difference between wheat-maize rotation and wheat-soybean rotation in Anhui Province. *Plant Protection*, 46(2): 287–288 (in Chinese) [任学祥, 胡本进, 苏贤岩, 徐丽娜, 苏卫华, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 邱化义, 叶正和. 2020. 安徽发现草地贪夜蛾区别为害麦玉/麦豆轮作田小麦. *植物保护*, 46(2): 287–288]
- SUN HY, QIN YJ, FANG Y, ZHAO ZH, PAN XB, ZHAO SQ, LIU H, LAN S, LU GC, LI ZH. 2018. The potential economic loss of bitter melon industry in China caused by *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) based on @RISK. *Plant Quarantine*, 32(6): 64–69 (in Chinese) [孙宏禹, 秦誉嘉, 方焱, 赵中华, 潘绪斌, 赵守歧,

- 刘慧, 蓝帅, 卢国彩, 李志红. 2018. 基于@RISK的瓜实蝇对我国苦瓜产业的潜在经济损失评估. 植物检疫, 32(6): 64-69]
- TAYLOR AS, COOK DC. 2018. An economic assessment of the impact on the western Australian viticulture industry from the incursion of grapevine downy mildew. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(4): 397-403
- WANG QQ, CUI L, WANG L, HUANG WL, DAI LM, YUAN HZ, RUI CH. 2020. Risk analysis of the harm of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to wheat: the harmfulness of feeding and change of detoxification enzyme activities. *Plant Protection*, 46(1): 63-68 (in Chinese) [王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉. 2020. 草地贪夜蛾对小麦的为害风险: 取食为害性及解毒酶活性变化初探. 植物保护, 46(1): 63-68]
- WANG XY, LI MZ. 2006. The relationship of rank correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient. *Journal of Guangdong Industry Technical College*, 5(4): 26-27 (in Chinese) [王晓燕, 李美洲. 2006. 浅谈等级相关系数与斯皮尔曼等级相关系数. 广东轻工职业技术学院学报, 5(4): 26-27]
- WU KM. 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1-5 (in Chinese) [吴孔明. 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1-5]
- WU QL, JIANG YY, WU KM. 2019. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Protection* 45(2): 1-6, 18 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. 植物保护, 45(2): 1-6, 18]
- XIE MH, ZHONG YZ, CHEN HL, LIN LL, ZHANG GL, XU LN, WANG ZY, ZHANG JP, ZHANG F, SU WH. 2020. Potential overwintering ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Anhui Province. *Plant Protection*, 46(3): 236-241 (in Chinese) [谢明惠, 钟永志, 陈浩梁, 林璐璐, 张光玲, 徐丽娜, 王振营, 张金平, 张峰, 苏卫华. 2020. 草地贪夜蛾在安徽地区越冬能力初探. 植物保护, 46(3): 236-241]
- XU LN, HU BJ, SU WH, QI RD, QIU K, ZHENG ZY, ZHANG QY, ZHOU ZY, QI SS, HU F, et al. 2019. Fall armyworm damaging early sowing wheat in Anhui Province. *Plant Protection*, 45(6): 87-89 (in Chinese) [徐丽娜, 胡本进, 苏卫华, 戚仁德, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 周子燕, 戚士胜, 胡飞, 等. 2019. 安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦. 植物保护, 45(6): 87-89]
- YANG XM, SUN XX, ZHAO SY, LI JY, CHI XC, JIANG YY, WU KM. 2020. Population occurrence, spatial distribution and sampling technique of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in wheat fields. *Plant Protection*, 46(1): 10-16, 23 (in Chinese) [杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 李加云, 迟旭春, 姜玉英, 吴孔明. 2020. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术. 植物保护, 46(1): 10-16, 23]
- ZHANG L, LIU B, JIANG YY, LIU J, WU KM, XIAO YT. 2019. Molecular characterization analysis of fall armyworm populations in China. *Plant Protection*, 45(4): 20-27 (in Chinese) [张磊, 柳贝, 姜玉英, 刘杰, 吴孔明, 萧玉涛. 2019. 中国不同地区草地贪夜蛾种群生物型分子特征分析. 植物保护, 45(4): 20-27]
- ZHANG Z, ZHENG Q, ZHANG YH, LIU J, YIN XT, TANG QB, LI J, YUAN Y, LI XR, ZHU X. 2019. Cold hardiness of laboratory populations of *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(6): 43-49, 69 (in Chinese) [张智, 郑乔, 张云慧, 刘杰, 殷新田, 汤清波, 李静, 袁源, 李祥瑞, 朱勋. 2019. 草地贪夜蛾室内种群抗寒能力测定. 植物保护, 45(6): 43-49, 69]
- ZHENG Q, WANG YQ, TAN YT, MA QL, YAN WJ, YANG S, XU HH, ZHANG ZX. 2019. Bioactivity of spinetoram and its field efficiency against *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1169-1174 (in Chinese) [郑群, 王勇庆, 谭煜婷, 马千里, 闫文娟, 杨帅, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 乙基多杀菌素悬浮剂对草地贪夜蛾的生物活性及田间防效. 环境昆虫学报, 41(6): 1169-1174]

(责任编辑:李美娟)