

基于@RISK 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估^{*}

康德琳^{**} 孙宏禹 秦誉嘉 卢国彩 蓝 帅 李志红^{***}

(中国农业大学, 植物保护学院, 北京 100193)

摘 要 【目的】预测辣椒果实蝇 *Bactrocera latifrons* Hendel 对我国辣椒产业的潜在经济损失, 为有关部门提供加强防控措施的科学依据。【方法】在收集辣椒果实蝇、辣椒市场价格与防治费用相关数据的基础上, 采用孙宏禹等 (2018) 所构建的重要经济实蝇潜在经济损失通用模型, 利用@RISK 软件及随机模拟方法, 预测了辣椒果实蝇可能给我国辣椒产业带来的直接经济损失。【结果】在不防治场景下的潜在经济损失总量在 51 476.91–1 452 378.22 万元之间, 防治场景下的潜在经济损失总量在 29 937.36–1 231 386.65 万元之间, 投入防治后所能挽回的潜在经济损失在 8 075.53–441 462.75 万元之间。【结论】辣椒果实蝇可能给我国辣椒产业带来的潜在经济损失较大。建议我国有关部门进一步加强针对辣椒果实蝇的防控措施, 从降低辣椒果实蝇为害率与损失率入手进行防治以减少其可能造成的经济损失。

关键词 辣椒果实蝇; 辣椒; 潜在经济损失; @RISK

The potential economic loss of chili industry in China caused by *Bactrocera latifrons* (Hendel) based on @RISK

KANG De-Lin^{**} SUN Hong-Yu QIN Yu-Jia LU Guo-Cai LAN Shuai LI Zhi-Hong^{***}

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

Abstract [Objectives] To predict the potential economic loss to the Chinese chili industry caused by the solanum fruit fly (*Bactrocera latifrons* Hendel), and provide a scientific basis for the prevention and control of this pest. [Methods] We collated relevant data on the solanum fruit fly, the market price of chili and the cost of prevention, then used the universal model of potential economic loss assessment due to economically important fruit flies (Sun 2018), @RISK and a stochastic simulation method to predict the potential direct economic loss to the chili industry. [Results] With no control of the solanum fruit fly, we predict that the chili industry could lose 514.77–14 523.78 million RMB, but with effective control it would lose only 299.37–12 313.87 million RMB, a saving of 80.76–4 414.63 million RMB. [Conclusion] The potential economic damage to the chili industry in China caused by the solanum fruit fly is high. Strengthening prevention and control of this pest is required to reduce rates of infection.

Key words *Bactrocera latifrons*; chili; potential economic loss; @RISK

辣椒果实蝇 *Bactrocera latifrons* Hendel, 英文名 Solanum fruit fly, 又称辣椒实蝇、宽额寡鬃实蝇, 隶属于双翅目 (Diptera) 实蝇科 (Tephritidae) 果实蝇属 (*Bactrocera*), 被我国

列为进境检疫性有害生物。

辣椒果实蝇主要危害茄科植物, 34 个种的茄科植物被证明会被辣椒果实蝇为害; 其次 15.3% 的葫芦科植物被证明会被其为害 (McQuate

^{*}资助项目 Supported projects: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (2019TC159)

^{**}第一作者 First author, E-mail: kangdelin@cau.edu.cn

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail: lizh@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-04-02; 接受日期 Accepted: 2019-04-26

et al., 2013)。辣椒果实蝇通过将卵产入寄主果实中, 幼虫取食果实直至老熟, 致果实霉烂无法食用, 而其繁殖力较强, 平均每只雌虫可产约 256 粒卵, 一天最多产 30 粒卵 (黄振和黄可辉, 2009)。辣椒 *Capsicum annuum* L. 是辣椒实蝇的重要寄主之一, 我国辣椒产量占世界辣椒总产量的 46%, 是我国最大的蔬菜产业 (郑井元等, 2018)。

辣椒果实蝇现分布于亚洲、非洲与北美洲等 19 个国家与地区, 在我国分布于广东、广西、香港、海南和云南等地 (EPPO, 2014)。李志红等 (2015) 将近年国内气候数据与辣椒果实蝇生态适应性结合, 预测目前辣椒果实蝇在我国的适生区范围还包括四川、云南、贵州、重庆、湖南、湖北、福建、江西、江苏等多个地区, 到 2020 年其适生区还将继续北扩, 适生区面积比例将增加到 39.00%。目前辣椒果实蝇在我国虽然分布不广, 但是其潜在适生区的广泛面积足以引起重视, 对于潜在经济损失的评估可以有效量化辣椒果实蝇所带来的危害, 引起有关部门的重视。

曾士迈 (1994) 对有害生物所造成的损失解释中, 包括了产量、品质、防治费用等方面的直接损失和对环保、商贸、加工等方面的间接损失; 还包括对农业生产者的原生损失和对消费者、社会、国家的次生损失。基于@RISK 对入侵生物造成经济损失的研究, 近年来国内外均有报导。方焱等 (2015) 对南亚果实蝇对我国南瓜产业造成的经济损失进行了评估, 预测造成的经济损失在 3 741.5-2 315 783.08 万元之间, 并发现南瓜受南亚果实蝇感染后产量损失率对最终结果影响最大。孙宏禹等 (2018) 对瓜实蝇对我国苦瓜产业造成的经济损失进行评估, 预测不防治场景下的经济损失总量可达 440 757.51-2 348 173.45 万元之间, 投入防治后可挽回经济损失在 223 259.26-1 067 075.85 万元之间。Taylor 等 (2018) 对葡萄霜霉病在不防治场景下对西澳大利亚葡萄产业造成的经济损失进行了评估, 预测在开始入侵后的 30 年中平均每年造成的损失为 730 万澳元, 标准差为 260 万澳元, 在入侵后第 20 年造成的经济损失最多。

本研究在收集辣椒果实蝇、辣椒市场价格与防治费用相关数据的基础上, 采用本团队所报道的重要经济实蝇潜在经济损失通用模型, 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辣椒果实蝇可能给我国辣椒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。本研究明确辣椒果实蝇对我国辣椒产业可能造成的潜在经济损失, 为进一步加强检疫防控措施提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 @RISK 软件与评估方法

@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的预测。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 (Palisade Corporation, 2018)。本试验使用@RISK 7.5 版本, 模型中设置迭代次数为 10 000 次, 模拟次数为 1。

1.2 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估模型

在本试验中, 辣椒果实蝇对我国辣椒产业造成的直接经济损失分为两种情况, 即在不防治场景下的潜在经济损失与在防治场景下的潜在经济损失。

不防治场景下的经济损失, 指在未进行人工干预治理下辣椒果实蝇对辣椒产业所能造成的经济损失, 包括由于辣椒果实蝇为害导致辣椒产量变化所造成的经济损失和辣椒品质下降所造成的经济损失。其模型为:

$$F_1 = F_{11} + F_{12}$$

公式中, F_1 为不防治场景下的潜在经济损失总量; F_{11} 为产量下降引起的经济损失; F_{12} 为质量下降引起的经济损失。

防治场景下的经济损失, 指人为采取一定防治措施, 使辣椒产量损失达到经济损害允许水平 (EIL) 后, 辣椒果实蝇对辣椒产业所能造成的

经济损失,其包括防治辣椒果实蝇所需的费用和投入防治后辣椒的经济损失。其模型为:

$$F_2 = F_{21} + F_{22}$$

公式中, F_2 为防治场景下的潜在经济损失总量; F_{21} 为防治费用的支出量; F_{22} 为投入防治后的经济损失。

投入防治所能挽回的经济损失模型为:

$$F_3 = F_1 - F_2$$

公式中, F_3 为投入防治后所能挽回的潜在经济损失。

1.2.1 不防治场景下的潜在经济损失模型

(1) 产量下降引起的经济损失模型

由辣椒果实蝇为害所造成辣椒产量变化的经济损失模型为:

$$F_{11} = Q_1 \times I \times R \times P_c / (1 - IR)$$

公式中, Q_1 为辣椒果实蝇适生区辣椒的年产量; I 为辣椒果实蝇对辣椒的为害率; R 为辣椒受辣椒果实蝇为害后的损失率; P_c 为辣椒市场价格水平。

其中,辣椒果实蝇适生区辣椒的年产量指在我国辣椒果实蝇的适生区范围中辣椒的年产量。辣椒果实蝇对辣椒的为害率指单个辣椒被辣椒果实蝇为害的概率。辣椒受辣椒果实蝇为害后的损失率指单个辣椒被辣椒果实蝇为害后完全失去其经济价值的概率。辣椒市场价格水平指未受辣椒果实蝇为害的辣椒的市场价格。

(2) 质量下降引起的经济损失模型

由辣椒果实蝇为害所造成辣椒质量变化的经济损失模型为:

$$F_{12} = Q_1 \times I \times (1 - R)(P_c - P_2) / (1 - IR)$$

公式中, P_2 为品质下降辣椒的价格水平; 品质下降辣椒的价格水平指受辣椒果实蝇为害后的辣椒的市场价格。

1.2.2 防治场景下的潜在经济损失模型

(1) 防治费用计算模型

针对辣椒果实蝇为害辣椒所采取防治措施的费用计算模型为:

$$F_{21} = S \times I \times C$$

公式中, S 为辣椒果实蝇适生区中辣椒的种植面积; C 为单位面积辣椒产区的防治成本。

辣椒果实蝇适生区中辣椒的种植面积指在

预测得到的 2020 年气候条件下的辣椒果实蝇适生区中,辣椒的种植面积。单位面积辣椒产区的防治成本指单位面积防治辣椒果实蝇所投入的防治费用。

(2) 投入防治后辣椒果实蝇造成的潜在经济损失模型。

在对辣椒果实蝇采取防治措施后辣椒果实蝇所能造成的潜在经济损失模型为:

$$F_{22} = Q_1 \times I \times E \times P_c / (1 - IE) + Q_1 \times I \times (1 - E)(P_c - P_2) / (1 - IE)$$

公式中, E 为 EIL 的缩写,即辣椒果实蝇为害辣椒的经济损害允许水平。

其中,辣椒果实蝇为害辣椒的经济损害允许水平指辣椒受到辣椒果实蝇为害后,投入人工防治产生作用,辣椒临界受害程度。

1.3 辣椒果实蝇对我国辣椒产业造成潜在经济损失模型中参数的确定

1.3.1 辣椒果实蝇适生区中辣椒的种植面积及年产量 辣椒在我国产地分布广泛,南北方多个省内均有种植(耿三省等,2011;马艳青,2011),但各省具体的种植面积及产量缺乏准确的官方统计数字。因此我们将预测到的 2020 年辣椒果实蝇适生区占全国面积的 39% (李志红,2015) 与 FAO (2018) 公布的我国青辣椒的 2013-2017 年的种植面积及产量相乘,计算得到的结果被认为是我国 2013-2017 年辣椒果实蝇适生区中辣椒的种植面积及年产量。种植面积的最大值为 296 900.76 hm^2 ,最小值为 277 863.30 hm^2 ,平均值为 287 526.72 hm^2 。年产量的最大值为 6 950 282.82 吨,最小值为 6 172 368.54 吨,平均值为 6 570 047.48 吨。分别采用 Pert 分布进行拟合,即种植面积的分函数为 Pert (4 167 949.50, 4 312 900.80, 4 453 511.40),年产量的分函数为 Pert (6 172 368.54, 6 570 047.48, 6 950 282.82)。

1.3.2 辣椒果实蝇对辣椒的为害率 根据 Liquido 等 (1994) 在夏威夷的实地调查发现,单个辣椒果实未脱落之前被辣椒果实蝇为害的概率为 12.68%,在脱落后被辣椒果实蝇为害的概率为 18.18%。计算单个辣椒被为害的平均值为 15.43%。采用 Pert 分布进行拟合,即 Pert (12.68%,

15.43%, 18.18%)。

1.3.3 辣椒受辣椒果实蝇为害后辣椒的损失率 辣椒果实蝇将卵产于寄主的果实中, 幼虫取食果实致其霉烂无法食用(黄振和黄可辉, 2009)。在此认为单个卵在果实内孵化出幼虫, 果实即完全失去经济价值, 采用单个卵的孵化率作为为害后的损失率。鉴于缺少辣椒果实蝇孵化率的相关研究, 因此参考同属物种桔小实蝇的相关研究, 根据袁盛勇等(2005)对桔小实蝇在不同温度下卵孵化率的研究及吴淇铭(2014)对辣椒果实蝇发育起点温度及越夏最高温度的描述, 采用桔小实蝇 18-35 ℃卵孵化率的数据, 最大值为 80.67%, 最小值为 35.67%, 平均值为 64.05%。采用 Pert 分布进行拟合, 即 Pert (35.67%, 64.05%, 80.67%)。

1.3.4 辣椒市场价格水平 辣椒市场价格水平是根据全国农产品商务信息公共服务平台(2018)中辣椒 2017 年在全国 124 个市场 12 个月的调查价格进行收集和整理得到, 最高价格为 12.63 元/kg, 最低为 0.50 元/kg, 平均价格为 3.79 元/kg。采用 Pert 分布进行拟合, 即 Pert (0.50, 3.79, 12.63)。

1.3.5 品质下降辣椒的价格水平 品质下降的辣椒的价格水平用辣椒市场价格的一半作为数据集, 最高价格为 3.79 元, 最低价格为 0.50 元, 平均价格为 2.57 元。采用 Pert 分布拟合。即 Pert (0.5, 2.57, 3.79)。

1.3.6 辣椒果实蝇为害辣椒的经济损害允许水平 临界种群密度最初被 Bosch 和 Stern(1962)提出, 指在这个密度实施人工防治的成本与由于防治而获得的经济收益相当。

在此结合经济学要求, 经济损害允许水平模型公式:

$$EIL=C/(A\times P_c\times M)\times F\times 100\%$$

其中 C 为防治中农药的费用, A 为辣椒单位面积产量, P_c 为辣椒市场价格, M 为防治效果, F 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)。采用简阳地区关于辣椒农户的调查, 防治费用为 160 元/667 m², 防治效果为 0.90, 效益校正系数为 2, 3 个参数均采用均匀分布拟合。

2 结果与分析

2.1 不防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估及灵敏性分析

不防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失如表 1, 其中由产量下降所造成的经济损失在 26 397.31-1 191 759.49 万元之间, 平均值为 329 061.66 万元; 由质量下降所造成的经济损失在 0.94-618 044.31 万元之间, 平均值为 123 478.12 万元; 不防治场景下的潜在经济损失总量在 51 476.91-1 452 378.22 万元之间, 平均值为 492 000.62 万元。

表 1 不防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失结果(单位: 万元)
Table 1 Potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* under the no control condition (unit: 10 thousand)

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	最小值 Minimum value	平均值 Average value	最大值 Maximum value
F_{11}	产量下降引起的经济损失 Economic loss caused by field decline	$F_{11}=Q_1\times I\times R\times P_c/(1-IR)$	26 397.31	329 061.66	1 191 759.49
	质量下降引起的经济损失 Economic loss caused by quality decline	$F_{12}=Q_1\times I\times (1-R)(P_c-P_2)/(1-IR)$	0.94	123 478.12	618 044.31
F_1	不防治场景下的潜在经济损失总量 Potential economic loss under the no control condition	$F_1=F_{11}+F_{12}$	51 476.91	492 000.62	1 452 378.22

灵敏性分析的结果如图 1, 辣椒市场价格水平对不防治场景下的潜在经济损失总量影响最大, 其次为辣椒果实蝇对辣椒的为害率和辣椒受辣椒果实蝇为害后的损失率, 而辣椒果实蝇适生区辣椒的年产量和品质下降辣椒的价格水平对结果的影响可以忽略。

2.2 防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失评估及灵敏性分析

防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失如表 2, 其中由产防治费用的支出量在 8 602.19-12 761.90 万元之间, 平均值为 10 645.95 万元; 投入防治后的经济损失在 20 749.64-1 219 383.58 万元之间, 平均值为 309 283.57 万元; 防治场景下的潜在经济损失总量在 29 937.36-1 231 386.65 万元之间, 平均值为

319 930.53 万元。

灵敏性分析的结果如图 2, 辣椒市场价格水平对防治场景下的潜在经济损失总量影响最大, 其次为品质下降辣椒的价格水平和辣椒果实蝇对辣椒的为害率, 而辣椒果实蝇适生区辣椒的年产量和辣椒果实蝇适生区中辣椒的种植面积对结果的影响可以忽略。

2.3 投入防治后可挽回的潜在经济损失评估及灵敏性分析

投入防治后可挽回的潜在经济损失如表 3, 投入防治后所能挽回的潜在经济损失在 8 075.53-441 462.75 万元之间, 平均值为 172 070.09 万元。

灵敏性分析的结果如图 3, 品质下降辣椒的价格水平对投入防治后可挽回的潜在经济损失影响最大, 其次为辣椒市场价格水平和辣椒受辣

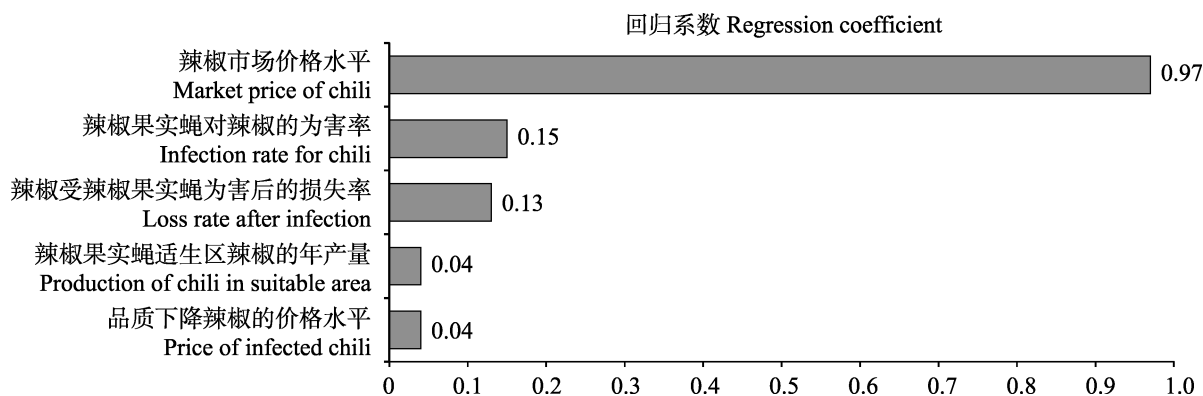


图 1 不防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失灵敏性分析结果
Fig. 1 Sensitivity analysis results of potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* under the no control condition

表 2 防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失结果 (单位: 万元)

Table 2 Potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* under the control condition (unit: 10 thousand)

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	最小值 Minimum value	平均值 Average value	最大值 Maximum value
F_{21}	防治费用的支出量 Expenditures of control expenses	$F_{21}=S \times I \times C$	8 602.19	10 645.95	12 761.90
F_{22}	投入防治后的经济损失 Economic loss after controlling	$F_{22}=Q_1 \times I \times E \times P_c / (1-IE) + Q_1 \times I \times (1-E)(P_c - P_2) / (1-IE)$	20 749.64	309 283.57	1 219 383.58
F_2	防治场景下的潜在经济损失总量 Potential economic loss under the control condition	$F_2=F_{21}+F_{22}$	29 937.36	319 930.53	1 231 386.65

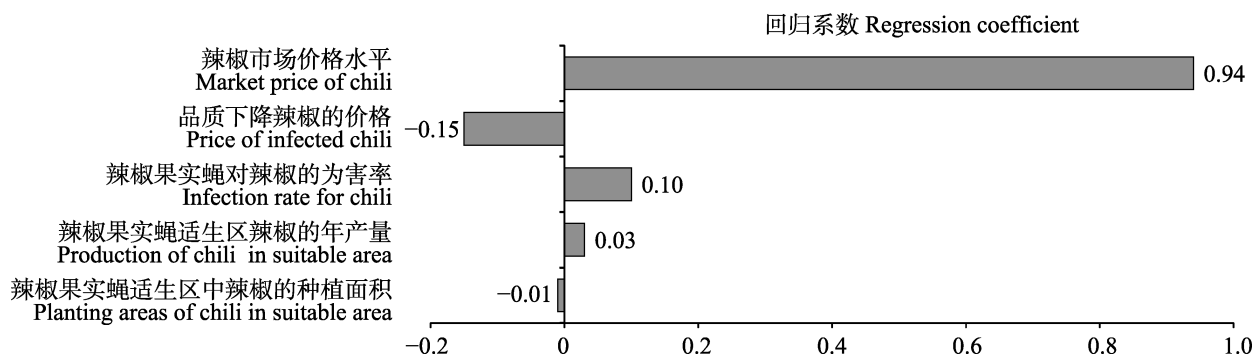


图 2 防治场景下辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失敏感性分析结果

Fig. 2 Sensitivity analysis results of potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* under the control condition

表 3 投入防治可挽回的辣椒果实蝇对我国辣椒产业潜在经济损失结果 (单位: 万元)

Table 3 Potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* could be redeemed after controlling (unit: 10 thousand)

标记 Sign	输出项 Output item	公式 Formula	最小值 Minimum value	平均值 Average value	最大值 Maximum value
F_3	投入防治后所能挽回的潜在经济损失 Potential economic loss that be recovered after the control	$F_3 = F_1 - F_2$	8 075.53	172 070.09	441 462.75

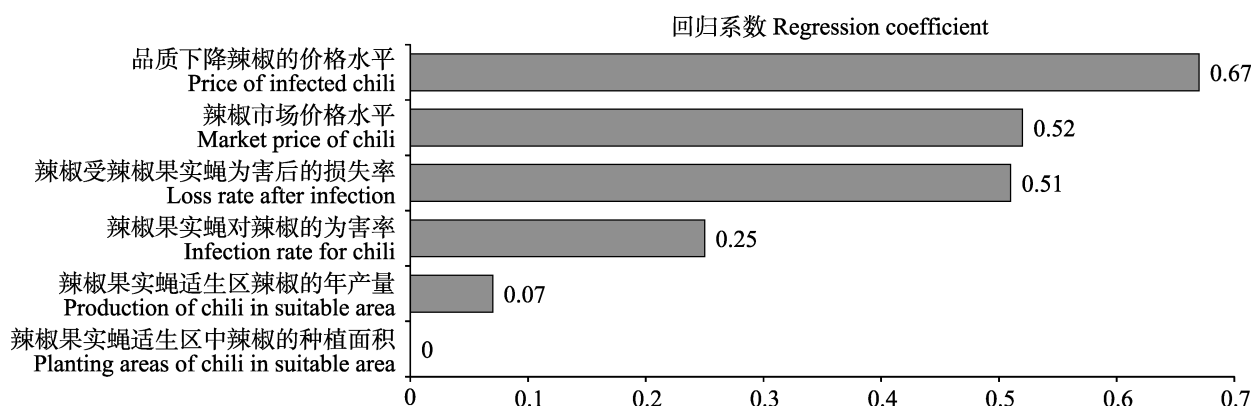


图 3 投入防治可挽回的辣椒果实蝇对我国辣椒产业潜在经济损失敏感性分析结果

Fig. 3 Sensitivity analysis results of potential economic loss of chili industry caused by *Bactrocera latifrons* could be redeemed after controlling

椒果实蝇为害后的损失率。

3 讨论

3.1 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失分析

从模型模拟的平均值结果来看,在不防治场景下由产量下降引起的经济损失占总损失量的 66.88%,由质量下降引起的经济损失占总损失量的 25.10%,由此可见由产量下降引起的经济损失是在不防治场景下产生的经济损失的主要来源。

在防治场景下,从平均值来看防治费用的支出量占防治场景下的潜在经济损失总量的 3.33%,即在投入防治成本 10 645.95 万元时,可挽回的经济损失为 172 070.09 万元,投入防治后可挽回的经济损失是投入成本的 16.2 倍,由此可以看出投入防治后收益远高于成本。

3.2 辣椒果实蝇对我国辣椒产业的潜在经济损失敏感性分析

由敏感性分析可知辣椒市场价格水平对潜在经济损失影响最大,而辣椒的市场价格水平人

为调控难度较大。可控节点为辣椒果实蝇对辣椒的为害率与辣椒受辣椒果实蝇为害后的损失率,在辣椒果实蝇为害前进行一定的防治措施降低辣椒果实蝇的为害率,可有效降低被为害的辣椒数量;在辣椒果实蝇为害后通过防治措施杀死果实内辣椒果实蝇的卵,使其不能正常孵化出幼虫以保证果实质量不受较大影响。因此建议对辣椒果实蝇的防治可以从这两个方面入手,可有效降低由辣椒果实蝇所造成的经济损失。而海关及检疫部门应加强对辣椒果实蝇的检疫,防止其进一步传播扩散。

3.3 本研究的局限性

本研究继承了前人的研究方法,根据已有数据对部分内容进行了调整,预测了辣椒果实蝇对我国辣椒产业带来的潜在经济损失,具有一定的检疫防治意义。但是研究中还存在一定局限性:

(1) 基础数据存在一定局限。辣椒种植面积及产量因缺少各地区具体种植面积及产量数据,根据相关文献中辣椒产地的分布做出大致判断来确定,与实际情况相比难免会有部分误差存在。辣椒果实蝇为害后的损失率是依据桔小实蝇的实验室孵化率来确定的,在自然条件下辣椒果实蝇为害后的孵化率还会受到天敌、种间竞争和气候等的影响,且在本实验中假设的是单个受害果实中只存在一枚虫卵,因此数据存在一定误差。在计算经济损失允许水平中,防治费用仅包含药剂的费用,缺少对于人工及机械折旧费等的计算。

(2) 预测结果有待进一步验证。在本实验采用的是拉丁超立方体法,缺少通常模型中用部分数据用来做测试集已验证结果准确性的过程,未来可通过实地调查或大田实验来对模型的预测数据进行验证。

参考文献 (References)

Bosch RVD, Stern VM, 1962. The integration of chemical and biological control of arthropod pests. *Annual Review of Entomology*, 7(1): 367–386.

EPPO, 2014. PQR database. Paris, France: European and Mediterranean Plant Protection Organization. <http://www.eppo>.

int/DATABASES/pqr/pqr.htm.

Fang Y, Li ZH, Qin M, Wu ZG, Zhao SQ, Wu LF, Zhao ZH, Chen K, Qin YJ, Wang C, Zhao T, 2015. The potential economic impact of the pumpkin industry caused by *Bactrocera tau* (Walker). *Plant Protection*, 29(3): 28–33. [方焱, 李志红, 秦萌, 吴志刚, 赵守歧, 吴立峰, 赵中华, 陈可, 秦誉嘉, 王聪, 赵谈, 2015. 南亚果实蝇对我国南瓜产业的潜在经济损失评估. 植物检疫, 29(3): 28–33.]

FAO, 2018. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Geng SS, Chen B, Zhang XF, Sun JT, 2011. The development of chili breeding in China and the distribution of species in the market. *Chili Magazine*, 2011(3): 1–9. [耿三省, 陈斌, 张晓芬, 孙京涛, 2011. 我国辣椒育种动态及市场品种分布概况. 辣椒杂志, 2011(3): 1–9.]

Huang Z, Huang KH, 2009. Quarantine pest, *Bactrocera latifrons*, the morphology, hazard and quarantine measures. *Wuyi Science Journal*, 25(1): 21–23. [黄振, 黄可辉, 2009. 检疫性有害生物-辣椒实蝇的形态、危害与检疫对策. 武夷科学, 25(1): 21–23.]

Liquido NJ, Harris EJ, Dekker LA, 1994. Ecology of *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) populations: host plants, natural enemies, distribution, and abundance. *Annals of the Entomological Society of America*, 87(1): 71–84.

Li ZH, 2015. Prevention and Control of Biological Invasions: Potential Geographical Distribution of Economic Important Fruit Flies. Beijing: China Agriculture University Publishing House Press. 90–95. [李志红, 2015. 生物入侵防控: 重要经济实蝇潜在地理分布研究. 北京: 中国农业大学出版社. 90–95.]

Ma YQ, 2011. Situation analysis of chili industry in China. *Chili Magazine*, 2011(1): 1–5. [马艳青, 2011. 我国辣椒产业形势分析. 辣椒杂志, 2011(1): 1–5.]

McQuate GT, Grant T, Liquido, Nicanor J, 2013. Annotated world bibliography of host fruits of *Bactrocera latifrons* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Insecta Mundi*, 289(1): 1–61.

National Agricultural Business Information Public Service Platform, 2018. Agricultural product price analysis system. <http://nc.mofcom.gov.cn/channel/jghq2017/index.shtml>. [全国农产品商务信息公共服务平台, 2018. 农产品价格分析系统. <http://nc.mofcom.gov.cn/channel/jghq2017/index.shtml>.]

Palisade Corporation, 2018. Guide to Using @RISK. <http://www.palisade.com/risk/>

Pan F, Xiao TB, Qian 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. [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.]
- 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. [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 & Protection*, 125(4):1–7.
- Wu QM, 2014. Prediction of suitable distribution area and risk analysis of six important fruit flies. Master thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [吴淇铭, 2014. 6 种重要果实蝇的适生区预测和风险分析. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Yuan SY, Kong Q, Xiao C, Chen B, Yang SS, Zhang JB, Sun W, Li ZY, 2005. Influence of temperature on development, survival and fecundity of *Bactrocera dorsalis* Hendel. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(6): 588–591. [袁盛勇, 孔琼, 肖春, 陈斌, 杨仕生, 张建波, 孙文, 李正跃, 2005. 温度对桔小实蝇发育、存活和繁殖的影响. *华中农业大学学报*, 24(6): 588–591.]
- Zeng SM, 1994. Introduction of Plant Protection System Engineering. Beijing: Beijing Agriculture University Publishing House Press. 83–89. [曾士迈, 1994. 植保系统工程导论. 北京: 北京农业大学出版社. 83–89.]
- Zheng JY, Li XF, Zhou SD, Ma YQ, 2018. Progress of chili science in 2017. *China Vegetables*, 2018(5): 9–15. [郑井元, 李雪峰, 周书栋, 马艳青, 2018. 2017 年度辣椒科学研究进展. *中国蔬菜*, 2018(5): 9–15.]



番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny) 卵

番茄潜麦蛾隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 麦蛾科 (Gelechiidae), 原产南美洲。该虫 2006 年入侵西班牙, 随后迅速扩散到北非和欧洲许多国家。番茄潜叶蛾严重危害温室和露天的番茄, 受害的番茄果实会丧失经济价值, 经济损失可达 50%-100%, 国际马铃薯中心认为番茄潜叶蛾是威胁全球番茄生产的最严重害虫之一。

番茄潜麦蛾的卵呈小圆柱形, 长 0.35 mm, 乳白色至黄色。卵期 4-6 d。雌成虫一生可以产卵 250-300 枚, 散产, 卵粒散步在叶片上。赤眼蜂对番茄潜麦蛾的卵有很高的寄生效率, 西班牙东南部每 3-4 d 释放 30 头赤眼蜂 *Trichogramma achaeae* 成虫/株, 危害就可减少 91.7%。

(张润志, 中国科学院动物研究所)