

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.04.002

基于@ RISK 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的经济损失评估

席曼姝^{1,2,3}, 王振霖^{1,2,3}, 刘孝贤^{1,2,3}, 李志红⁴, 张鑫^{1,2}, 吕昭智^{1,2}, 韩鹏^{1,2,5*}
¹中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;
²中国科学院新疆生态与地理研究所标本馆, 新疆 乌鲁木齐 830011; ³中国科学院大学,
北京 100049; ⁴中国农业大学植物保护学院, 北京 100193;
⁵云南大学生态与环境学院, 云南 昆明 650091

摘要:【目的】新发恶性外来入侵物种番茄潜叶蛾的入侵对我国番茄产业的安全生产造成了极大威胁。本文利用@ RISK 模型对化学防治、生物防治和理化诱控 3 种不同防治场景下我国番茄产业的潜在经济损失和投入防治后可挽回的经济损失进行综合评估, 结果可为我国番茄潜叶蛾综合防治体系的构建提供参考。【方法】基于国内外文献收集到的番茄潜叶蛾危害数据(危害率、番茄产量损失率、防治成本和防治效果), 结合全国农产品商务信息公共服务平台、FAO 获得我国番茄的种植面积、产量及价格等相关数据, 利用@ RISK 模型对不防治场景和 3 种不同防治场景下的番茄产业的经济损失进行评估。【结果】番茄潜叶蛾在不防治场景下每年给我国番茄产业造成的经济损失总量在(8226165.67~41903398.26)万元, 在化学防治(使用合成杀虫剂)、生物防治(释放天敌昆虫和微生物制剂)和理化诱控(基于灯光和合成性信息素的诱杀产品)3 种不同防治场景下能有效挽回经济损失, 分别为 89.83%、87.90% 和 89.19%。【结论】基于不同的防治场景能够有效挽回番茄潜叶蛾造成的经济损失, 面对该害虫在我国的严峻扩散形势, 建议各级政府和行业部门应高度重视并进一步加强番茄潜叶蛾的防控, 保障我国番茄产业的安全生产。

关键词: 番茄潜叶蛾; 番茄; 经济损失; @ RISK



开放科学标识码
(OSID 码)

Assessment of the economic loss to the tomato industry caused by *Tuta absoluta* in China based on @ RISK

XI Manshu^{1,2,3}, WANG Zhenlin^{1,2,3}, LIU Xiaoxian^{1,2,3}, LI Zhihong⁴,
ZHANG Xin^{1,2}, LÜ Zhaozhi^{1,2}, HAN Peng^{1,2,5*}
¹State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; ²The Specimen Museum of Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; ³University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
⁴College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ⁵School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China

Abstract: 【Aim】The South American tomato pinworm, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), is an invasive insect pest that threatens the tomato industry in China. We used the @ RISK model to predict the potential economic losses under various management strategies, including chemical control (CC), biological control (BC), and sensory cue-based physical and chemical control (SCPC). These results are expected to guide preventative measures and management options for *T. absoluta* in China. 【Method】We collected the data on damage rate, yield loss rate, control cost and the effectiveness of the control on *T. absoluta* from the Chinese and international literature, as well as on the cultivated acreage, production costs and market price. Based on this information, we used the @ RISK model to predict and evaluate the economic losses to the tomato industry in China under non-prevention and control

收稿日期(Received): 2021-12-16 接受日期(Accepted): 2022-04-06
基金项目: 中国科学院 STS 区域重点项目(KFJ-STQ-QYZD-176)
作者简介: 席曼姝, 女, 硕士研究生。研究方向: 昆虫生态学。E-mail: ximanshu18@mails.ucas.ac.cn
* 通信作者(Author for correspondence), 韩鹏, E-mail: penghan1394@163.com

scenarios, as well as three different prevention and control scenarios. 【Result】 Under the non-prevention and control scenario, the potential economic losses ranged between 82261656.7 and 419033982.6 thousand yuan per year nationally. However, the economic losses were effectively reduced by 89.83% when using CC (synthesized insecticides), by 87.90% using BC (arthropod natural enemies release and use of microbial agents), and by 89.19% using SCPC (light traps and synthesized sex pheromone-based products). 【Conclusion】 As these various management scenarios are successful in reducing the economic losses caused by *T. absoluta* and considering the rapid dispersal and expansion of this species in China, we suggest that the government and relevant stakeholders be aware of the importance of the management of this pest. The promotion of prevention and management programs against this pest is urgently needed, as they are expected to protect the tomato industry in China.

Key words: *Tuta absoluta*; tomato; economic loss; @ RISK

番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Meyrick) (鳞翅目: 麦蛾科), 又名“番茄潜麦蛾”或“南美番茄潜叶蛾”, 是一种毁灭性的入侵害虫, 主要以番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill. 为寄主植物, 也可危害其他茄科作物, 如马铃薯 *Solanum tuberosum* L.、茄子 *Solanum melongena* L.、辣椒 *Capsicum annuum* L. 等 (Biondi *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2021; Xian *et al.*, 2017)。该虫起源于南美洲, 2006 年首次在西班牙东部发现, 并以平均每年 800 km 的扩散速度在欧洲、非洲、中东和亚洲迅速传播, 给各地区的番茄产业造成了严重的经济损失 (Biondi *et al.*, 2018; Desneux *et al.*, 2010, 2011, 2022; Han *et al.*, 2018, 2019; Santana *et al.*, 2019)。

番茄潜叶蛾的入侵危害可能在我国产生巨大的经济损失。截至 2018 年, 我国番茄种植面积超过 100 万 hm^2 , 年产量达到 6000 万 t, 是世界上番茄种植面积最大、产量最高的国家 (FAO, 2018)。番茄潜叶蛾对气候的适应能力强 (张桂芬等, 2018), 在我国有着较大面积的气候适生区, 其潜在分布区覆盖中国的西部、中部和东部的大部分地区, 且新疆、西藏和青海等地的气候基本适合该虫生存 (Xian *et al.*, 2017)。此外, 番茄潜叶蛾繁殖潜力大、扩散能力和适应能力较强 (Desneux *et al.*, 2010, 2011)。近年来, 该害虫已入侵我国新疆伊犁地区 (Wang *et al.*, 2021), 并在云南、贵州、四川、湖南等地相继发现, 对我国番茄的生产、加工和运输造成严重影响 (Zhang *et al.*, 2021)。

从全球来看, 产量损失和额外的管理费用是番茄潜叶蛾造成经济损失的 2 个主要方面 (Han *et al.*, 2018)。在荷兰, 由番茄潜叶蛾感染导致番茄产量下降引起的经济损失每年估计在 500 万 ~ 2500 万欧元 (Potting *et al.*, 2013); 在伊朗, 该害虫的感染率高达 100%, 导致温室和大田番茄作物产量损失

约 10%, 每年经济损失达 3500 万美元 (Han *et al.*, 2018); 土耳其每年用于防治番茄潜叶蛾的化学控制费用约为 1.607 亿欧元 (Oztemiz *et al.*, 2012)。若番茄潜叶蛾扩散到世界各地, 用于该害虫的防治管理费每年将增加约 2.4 亿 ~ 4.2 亿欧元 (以西班牙为例: 100 ~ 150 欧元 $\cdot \text{hm}^{-2}$) (Desneux *et al.*, 2011)。

化学农药是番茄潜叶蛾的主要防治方法 (Pimentel *et al.*, 2000), 但化学农药的大量使用导致害虫抗药性逐年增加 (Campos *et al.*, 2015; Roditakis *et al.*, 2015, 2018), 并且对非靶标有益节肢动物存在副作用 (Han *et al.*, 2010; Mohammed *et al.*, 2018)。基于上述原因, 在该害虫综合治理体系 (integrated pest management, IPM) 中, 推荐可持续的绿色防控技术, 例如性诱捕、迷向技术、捕食性天敌和寄生性天敌的释放等技术手段 (Aksoy & Kovanci, 2016; Desneux *et al.*, 2022; Jaworski *et al.*, 2015; Kececi *et al.*, 2017)。其中, 基于高浓度合成性信息素的迷向技术和基于捕食性天敌盲蝽 *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) 和 *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) 释放的生物防治技术, 在欧洲应用较为成功 (Desneux *et al.*, 2022)。然而, 这些新型绿色防控技术面临着经济成本高等问题。

入侵害虫造成的经济损失包括直接经济损失和间接经济损失 2 个方面: 直接经济损失指入侵害虫对作物本身造成的损失, 包括作物产量和质量下降以及防治费用方面的损失; 间接经济损失指入侵害虫感染作物后所导致的非直接损失, 包括对市场、消费者、社会和环境产生的损失 (De Ros *et al.*, 2015)。近年来, 国内外已有利用 @ RISK 软件评估入侵生物造成的经济损失的报道, 如南亚果实蝇 *Bactrocera* (*Zeugodacus*) *tau* (Walker) (方焱等, 2015)、白纹伊蚊 *Aedes albopictus* Skuse (Darbro *et al.*, 2017)、瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett)

(孙宏禹等, 2018)、葡萄霜霉菌 (Taylor & Cook, 2018)、辣椒果实蝇 *B. latifrons* Hendel (康德琳等, 2019)、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) (秦誉嘉等, 2020; 徐艳玲等, 2020)。

本研究基于@ RISK 工具风险模型对番茄潜叶蛾给我国番茄产业造成的潜在经济损失以及不同防治场景下可挽回的经济损失进行评估, 以期为建立番茄潜叶蛾的综合防控管理系统提供参考。

1 材料和方法

1.1 @RISK 软件及评估方法

@ RISK 利用 Monte Carlo 随机模拟, 基于概率分布对各种可能出现的情况进行模拟, 统计出各种输入变量的发生概率, 对不确定风险进行定量的预测。另外, 灵敏性分析能够识别重要的风险驱动因子, 确定输入变量中的关键因素 (Palisade, 2018)。本试验使用@ RISK 7.6 版本, 为了提高模型精度, 设置迭代次数为 100000 次, 模拟次数为 1。

1.2 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在损失评估模型

本研究采用@ RISK 软件, 在前人研究的基础上结合番茄潜叶蛾的生物学特性对模型进行优化, 对防治和不防治 2 种场景下番茄潜叶蛾造成的潜在经济损失进行评估。防治场景分别预测化学防治、生物防治和理化诱控 3 种防治策略。

1.2.1 不防治场景下番茄潜叶蛾造成的潜在经济损失模型 不防治场景下的直接经济损失 (F_1) 包括产量下降引起的经济损失 (F_{11}) 和质量下降引起的经济损失 (F_{12})。其模型为: $F_1 = F_{11} + F_{12}$ 。

(1) 番茄产量下降引起的经济损失 F_{11}

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

公式中, Q_1 为番茄年产量, 单位为 t; I 为番茄潜叶蛾对番茄的危害率; R 为番茄的产量损失率; P_c 为番茄的市场价格, 单位为元 $\cdot \text{kg}^{-1}$ 。

其中, 番茄年产量指在番茄潜叶蛾适生区内种植番茄的年产量; 番茄潜叶蛾对番茄的危害率指受到番茄潜叶蛾危害的番茄种植面积占总种植面积的比率; 番茄的产量损失率指受到番茄潜叶蛾危害后的番茄年产量与危害前产量的比值; 番茄的市场价格指未发生番茄潜叶蛾危害时的市场价格。

(2) 番茄质量下降引起的经济损失 F_{12}

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

公式中, P_2 为质量下降番茄的市场价格, 单位为元 $\cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2.2 防治场景下番茄潜叶蛾造成的潜在经济损失模型 防治场景下的经济损失 (F_x) 包括防治费用 (F_{x1}) 和防治后的经济损失 (F_{x2})。其模型为: $F_x = F_{x1} + F_{x2}$ 。

(1) 防治费用 F_{x1}

$$F_{x1} = S \times I \times C$$

公式中, S 为番茄种植面积; C 为单位面积防治成本。

其中, 番茄种植面积指番茄潜叶蛾适生区内番茄的种植面积; 单位面积防治成本指单位面积种植番茄用于防治番茄潜叶蛾的成本。

(2) 防治后的经济损失 F_{x2}

$$F_{x2} = Q_1 \times I \times E \times P_c / (1 - IE) + Q_1 \times I \times (1 - E) (P_c - P_2) / (1 - IE)$$

公式中, E 为番茄潜叶蛾危害番茄的经济损害允许水平 (economic injury level, EIL), 指害虫造成经济损失的最低种群密度 (Ghaderi *et al.*, 2018)。

1.3 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成潜在经济损失模型中参数的确定

1.3.1 番茄的种植面积及年产量 番茄在我国产地分布广泛, 在南北方多个省份均有广泛种植。根据 FAO (2018) 公布的相关数据, 番茄种植面积的最大值为 1113323.20 hm^2 , 最小值为 846400.00 hm^2 , 平均值为 988891.00 hm^2 。番茄年产量的最大值为 68909093.00 t, 最小值为 50552200.00 t, 平均值为 60093194.00 t。采用 Pert 分布对 2 组数据分别进行拟合, 即番茄种植面积分布函数为 Pert (12696000.00, 14833365.00, 16699848.00), 番茄年产量的分布函数为 Pert (50552200.00, 60093194.00, 68909093.00)。

1.3.2 番茄潜叶蛾对番茄的危害率 基于国外对番茄潜叶蛾的发生报道, 计算番茄潜叶蛾的危害率在 90% ~ 100% (Chidege *et al.*, 2016; Sridar *et al.*, 2014)。采用 Pert (90.00%, 95.00%, 100%) 进行拟合。

1.3.3 番茄受番茄潜叶蛾危害后的产量损失率 番茄潜叶蛾潜食番茄叶肉, 蛀食果实, 危害严重时造成番茄叶片枯萎, 果实脱落或腐烂 (张桂芬等, 2019)。若不及时采取防治手段, 将会造成番茄 80% ~ 100% 的产量损失 (Desneux *et al.*, 2010)。采用 Pert (80.00%, 90.00%, 100%) 进行拟合。

1.3.4 番茄市场价格水平 基于全国农产品商务信息公共服务平台 (<http://nc.mofcom.gov.cn/jghq/index>),收集 2020 年番茄潜叶蛾适生区各省份市场的番茄月平均价格。经分析得出,番茄最高价格为 10.33 元·kg⁻¹,最低价格为 0.86 元·kg⁻¹,平均价格为 4.56 元·kg⁻¹。采用 Pert (0.86,4.56,10.33)进行拟合。

1.3.5 品质下降番茄的市场价格水平 品质下降番茄的市场价格水平采取番茄市场价格的一半,最高为 4.56 元·kg⁻¹,最低为 0.86 元·kg⁻¹,平均价格为 1.73 元·kg⁻¹。采用 Pert (0.86,1.73,4.56)进行拟合。

1.3.6 番茄潜叶蛾危害番茄的经济损害允许水平 临界种群密度指在此密度害虫防治成本与防治挽回的经济损失相当 (Bosch & Stern,1962)。经济损失允许水平模型公式为:

$$E=C/(A\times P_c\times M)\times D\times 100\%$$

其中, C 为防治成本, A 为番茄单位面积产量, P_c 为番茄市场价格, M 为防治效果, D 为效益校正系数,一般认为收益是支出的 2 倍时效益较好 (潘飞等,2014)。根据新疆地区番茄种植农户调查及国内外文献得出:化学防治成本为 164.30 元·hm⁻²,防治

效果为 0.62;生物防治成本为 1066.67 元·hm⁻²,防治效果为 0.94 (Calvo *et al.*,2012);理化诱控成本为 431.83 元·hm⁻²,防治效果为 0.76 (Cocco *et al.*,2013)。以上参数均采用 Pert 均匀分布拟合。

2 结果与分析

2.1 不防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失评估及灵敏性分析

计算不防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失:产量下降引起的经济损失的 90%置信区间为(6786278.58~39690481.29)万元,平均值为 16970419.35 万元;质量下降引起的经济损失的 90%置信区间为(165056.31~2529426.86)万元,平均值为 1084437.36 万元;不防治场景下的潜在经济损失总量的 90%置信区间为(8226165.67~41903398.26)万元,平均值为 18859210.59 万元。

灵敏性分析结果见图 1,番茄市场价格水平对不防治场景下的造成经济损失影响最大,其次为番茄的产量损失率,再次为番茄潜叶蛾对番茄的危害率,番茄年产量和品质下降番茄价格水平的影响不明显。

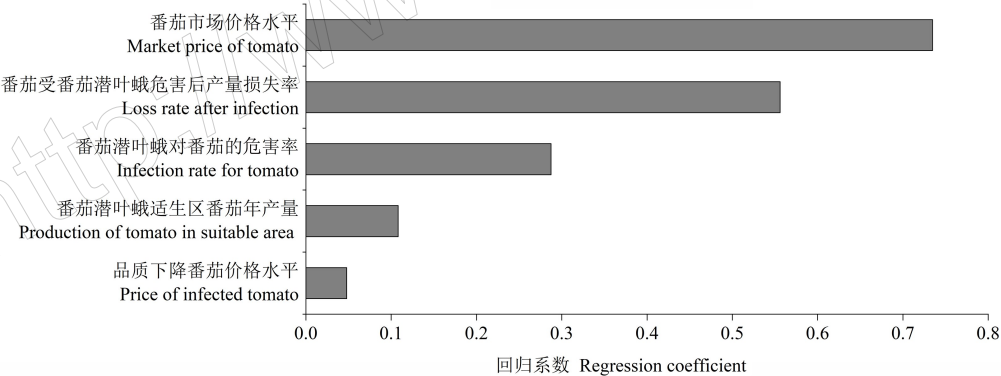


图 1 不防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失灵敏性分析结果

Fig.1 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* under the no control condition

2.2 防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失评估及灵敏性分析

2.2.1 化学防治 计算化学防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失:化学防治费用的 90%置信区间为(11833.47~36671.93)万元,平均值为 23591.57 万元;化学防治后经济损失的 90%置信区间为(345252.30~3579493.43)万元,平均值为1741341.52万元;化学防治场景下的潜在经济损失的 90%置信区间为(368996.64~3604205.51)万元,平均值为 1765436.47 万元。

灵敏性分析结果见图 2,番茄市场价格水平对化

学防治场景下造成的潜在经济损失影响最大,其次为品质下降的番茄价格水平,再次为番茄年产量,而单位面积化学防治成本、化学防治效果、番茄潜叶蛾对番茄的危害率和番茄种植面积的影响不明显。

2.2.2 生物防治 计算生物防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失:生物防治费用的 90%置信区间为(94539.76~178965.41)万元,平均值为 141422.50 万元;投入生物防治后的经济损失的 90%置信区间为(633991.48~3810251.88)万元,平均值为 1987433.09 万元;生物防治场景下的潜在经济损失的 90%置信区间为(769475.26~3952245.66)

万元,平均值为2128430.42万元。

灵敏性分析的结果见图 3,番茄市场价格水平对生物防治场景下造成的潜在经济损失影响最大,

其次为品质下降的番茄价格水平,再次为番茄年产量和单位面积生物防治成本,而番茄潜叶蛾对番茄的危害率和番茄种植面积的影响不明显。

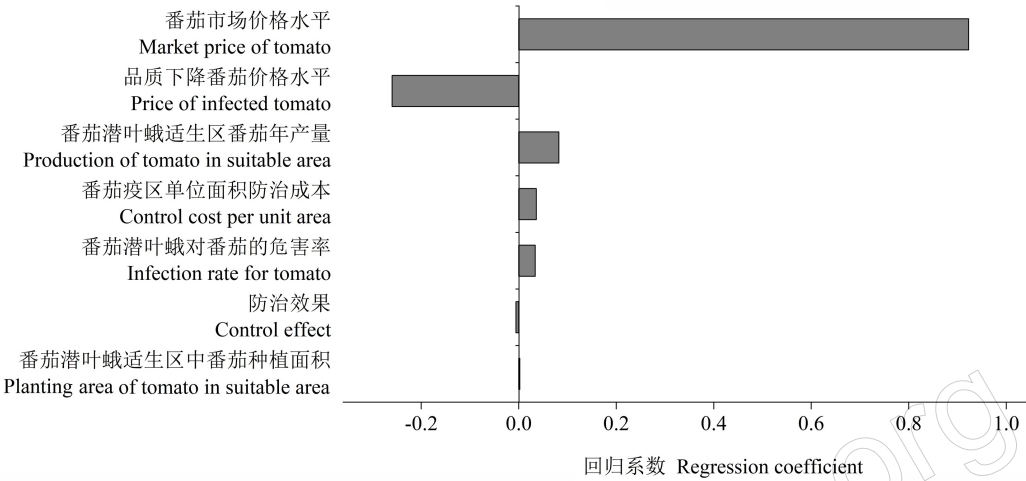


图 2 化学防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失灵敏性分析结果

Fig.2 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* under the chemical control condition

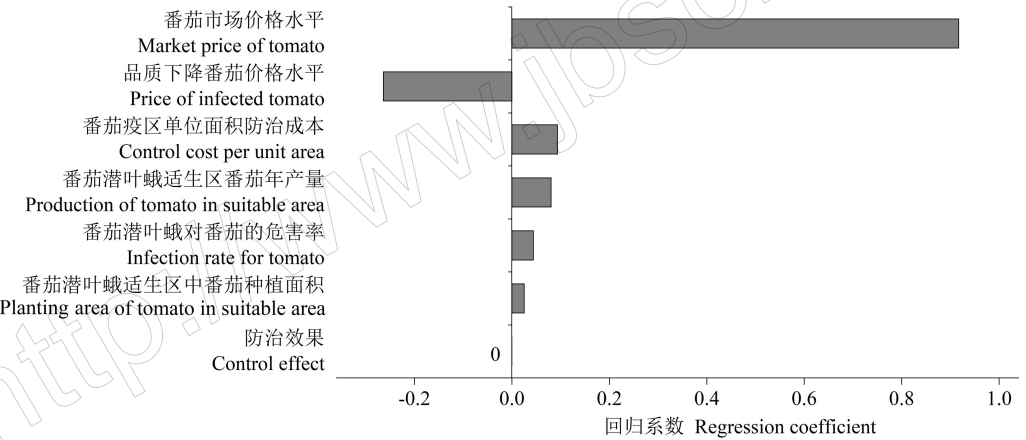


图 3 生物防治场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失灵敏性分析结果

Fig.3 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* under the biological control condition

2.2.3 理化诱控 计算理化诱控场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失;理化诱控费用的 90%置信区间为(49990.03~71922.2) 万元,平均值为 60524.28 万元;投入理化诱控后的经济损失的 90%置信区间为(443107.76~3662243.84) 万元,平均值为 1828857.03 万元;理化诱控场景下的潜在经济损失的 90%置信区间为(504795.58~3724923.19) 万元,平均值为1889383.72万元。

灵敏性分析结果见图 4,番茄市场价格水平对理化诱控场景下造成的潜在经济损失影响最大,其次为品质下降的番茄价格水平,再次为番茄年产量,而单位面积理化诱控成本、理化诱控效果、番茄潜叶蛾对番茄的危害率和番茄种植面积的影响不明显。

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

计算投入防治后可挽回的潜在经济损失;投入化学防治后可挽回的潜在经济损失的 90%置信区间为(7532080.60~39131358.51) 万元,平均值为 16940762.28 万元。投入生物防治后可挽回的潜在经济损失的 90%置信区间为(7144552.37~38782488.51) 万元,平均值为 16577991.17 万元。投入理化诱控后可挽回的潜在经济损失的 90%置信区间为(7404812.18~39011807.31) 万元,平均值为 16820105.45 万元。

3 种防治场景下灵敏性分析结果见图 5、6、7,番茄市场价格水平和番茄的产量损失率对防治后

可挽回的潜在经济损失影响最大,其次为番茄潜叶蛾对番茄的危害率,再次为番茄年产量和品质下降

的番茄价格水平,而单位面积防治成本、防治效果和番茄种植面积的影响不明显。

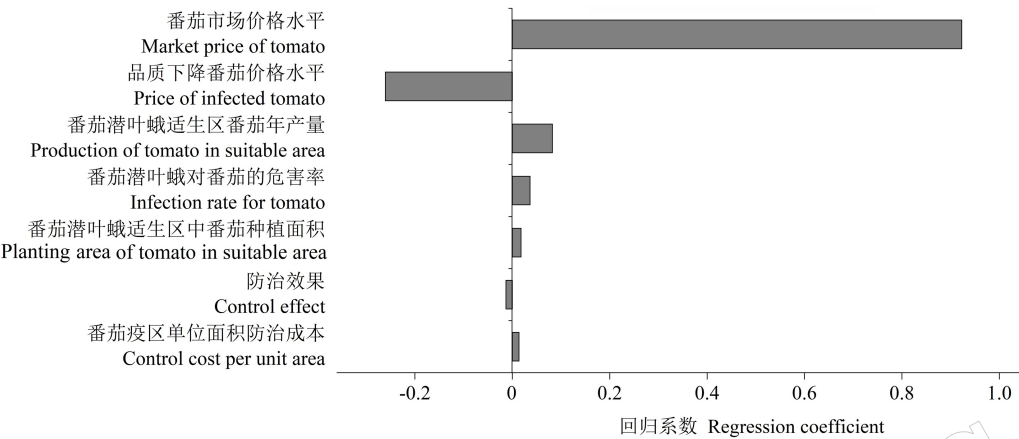


图 4 理化诱控场景下番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失敏感性分析结果

Fig.4 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T.absoluta* under the sensory cue-based physical & chemical control condition

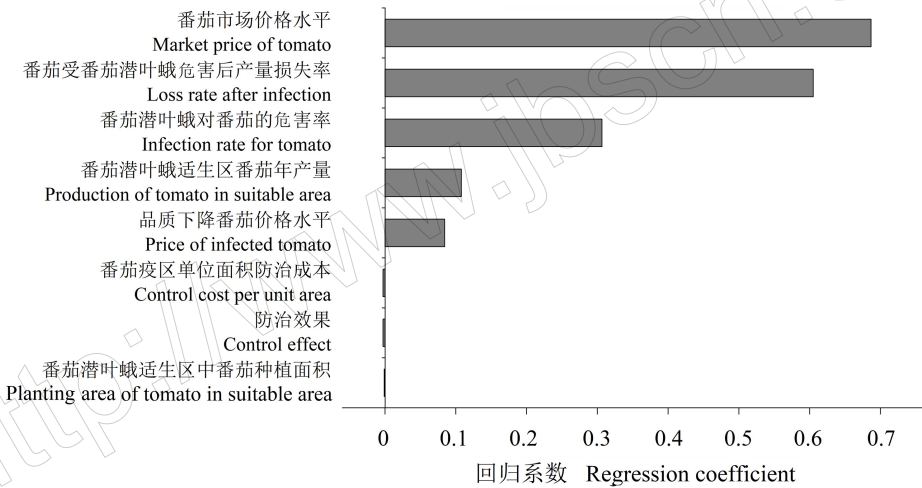


图 5 投入化学防治后可挽回的番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失敏感性分析结果

Fig.5 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* could be redeemed after chemical controlling

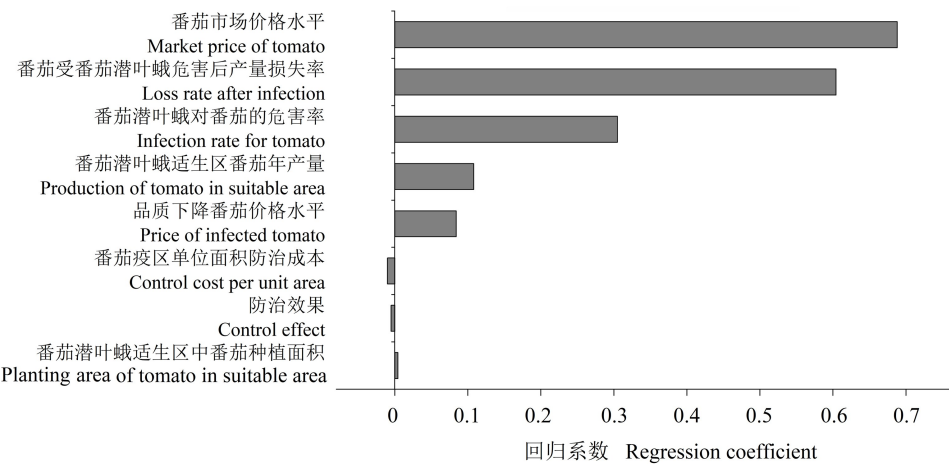


图 6 投入生物防治后可挽回的番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失敏感性分析结果

Fig.6 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* could be redeemed after biological controlling

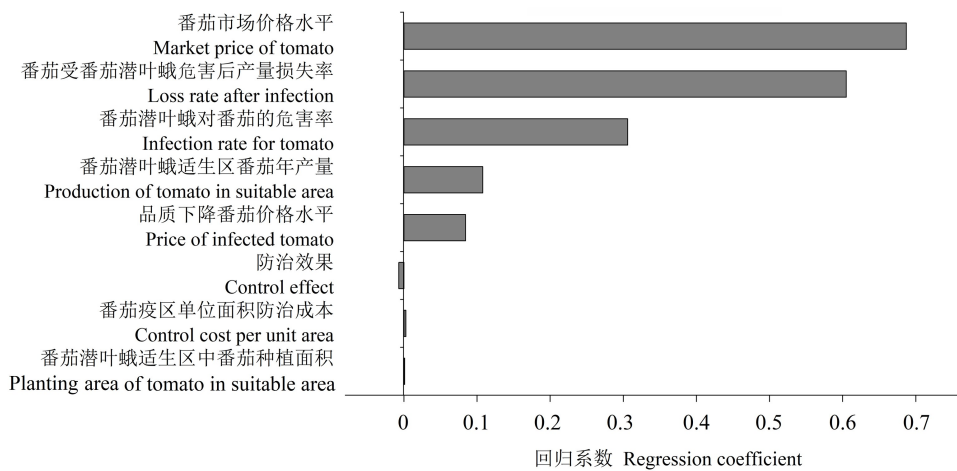


图 7 投入理化诱控后可挽回的番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失灵敏性分析结果

Fig.7 Sensitivity analysis results of potential economic loss of tomato industry caused by *T. absoluta* could be redeemed after sensory cue-based physical & chemical controlling

3 讨论

3.1 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失分析

不防治场景下的经济损失主要是番茄产量下降引起的经济损失。从模拟结果中的平均值可以看出,不防治场景下番茄产量下降引起的经济损失占总损失量的 89.98%,番茄质量下降引起的经济损失占总损失量的 5.75%。

在化学防治场景下,防治费用占损失总量的 1.34%,即投入防治费用 23591.57 万元时,可挽回经济损失 16940762.28 万元,是防治费用的 718.09 倍;在生物防治场景下,防治费用占损失总量的 6.64%,即投入防治费用 141422.50 万元时,可挽回经济损失 16577991.17 万元,是防治费用的 117.22 倍;在理化诱控场景下,防治费用占损失总量的 3.20%,即投入防治费用 60524.28 万元时,可挽回经济损失 16820105.45 万元,是防治费用的 277.91 倍。

3.2 番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失灵敏性分析

番茄市场价格水平对造成的潜在经济损失影响最大,但此因素的人为干预难度较大。但番茄潜叶蛾对番茄的危害率和番茄受番茄潜叶蛾危害后造成的损失率是可以控制的,如在番茄潜叶蛾暴发前采取一定的防治手段降低危害率来减少受害番茄数量;在番茄潜叶蛾危害后通过释放捕食性天敌来控制其种群密度以降低番茄受害程度等。此外,建议我国海关及检疫部门尽早将番茄潜叶蛾列入检疫性有害生物名录并加强对番茄潜叶蛾的入境

检疫及田间防治工作,防止其进一步传播扩散。

3.3 本研究的局限性

本研究在前人研究的基础上建立不采取防治手段和采取防治手段 2 种场景下的番茄潜叶蛾对我国番茄产业造成的潜在经济损失评估模型,并比较了化学防治、生物防治和理化诱控 3 种防治手段的经济效益,具有一定的参考意义。但仍存在一定的局限性:(1)基础数据不完善,防治费用缺少人工及机械折旧费用等细节的计算,与实际农业生产情况有差距;(2)模型的预测结果缺少验证,未来可通过大田试验的数据来验证本模型的预测结果。

3.4 结论

本研究结果表明,番茄潜叶蛾入侵我国并持续扩散,将对我国番茄产业造成巨大的经济损失。因此,建议对该害虫采取严格、完整的检疫措施,尽量降低其入侵风险。在其入侵后的防治方面,可以向欧洲借鉴更有效的 IPM 解决方案来建立自己的管理系统,比如更多地采取以生物防治为核心的绿色防控技术体系。在化学防治、生物防治和理化诱控 3 种不同防治场景下,可挽回的经济损失在 88%~90%,防治效果显著。在防治投入成本方面,虽然化学防治的成本相对低廉,但长期使用面临着害虫抗药性增加以及各种生态环境问题。建议在 IPM 中减少化学农药的使用,更多地采用生物防治及理化诱控等手段来降低害虫的密度以减少经济损失。

参考文献

方焱,李志红,秦萌,吴志刚,赵守歧,吴立峰,赵中华,

- 陈克, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 徐艳玲, 李昭原, 陈杰, 李志红, 秦誉嘉, 2020. 草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失评估. 植物保护学报, 47(4): 740-746.
- 张桂芬, 刘万学, 万方浩, 洗晓青, 张毅波, 郭建洋, 2018. 世界毁灭性检疫害虫番茄潜叶蛾的生物生态学及危害与控制. 生物安全学报, 27(3): 155-163.
- 张桂芬, 马德英, 刘万学, 王玉生, 付文君, 王俊, 高有华, 万方浩, 2019. 中国新发现外来入侵害虫——南美番茄潜叶蛾(鳞翅目: 麦蛾科). 生物安全学报, 28(3): 200-203.
- AKSOY E, KOVanci O B, 2016. Mass trapping low-density populations of *Tuta absoluta* with various types of traps in field-grown tomatoes. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 123(2): 51-57.
- BIONDI A, GUEDES R N C, WAN F H, DESNEUX N, 2018. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive south American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63(1): 239-258.
- BOSCH R V D, STERN V M, 1962. Integration of chemical and biological control of arthropod pests. *Annual Review of Entomology*, 7(1): 367-386.
- CALVO F J, LORENTE M J, STANSLY P A, BELDA J E, 2012. Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisa tabaci* in greenhouse tomato. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 143(2): 111-119.
- CAMPOS M R, SILVA T B M, SILVA W M, SILVA J E, SIQUEIRA H A A, 2015. Spinosyn resistance in the tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 88(2): 405-412.
- CHIDEGE M, AL-ZAIDI S, HASSAN N, JULIE A, KAAYA E, MROGORO S, 2016. First record of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Tanzania. *Agriculture & Food Security*, 5(1): 17.
- COCCO A, DELIPERI S, DELRIO G, 2013. Control of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique. *Journal of Applied Entomology*, 137(1/2): 16-28.
- DARBRO J, HALASA Y, MONTGOMERY B, 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.
- DE ROS G, CONCI S, PANTEZZI T, SAVINI G, 2015. The economic impact of invasive pest *Drosophila suzukii* on berry production in the Province of Trento, Italy. *Journal of Berry Research*, 5(2): 89-96.
- DESNEUX N, HAN P, MANSOUR R, ARNO J, BREVAULT T, CAMPOS M R, CHAILLEUX A, GUEDES R N C, KARIMI J, KONAN K A J, LAVOIR A V, LUNA M G, PEREZ-HEDEO M, URBANEJA A, VERHEGGEN F J, ZAPPA-LA L, ABBES K, ALI A, BAYRAM Y, CANTOR F, CUTHBERTSON A G S, DE VIS R, ERLER F, FIRAKE D M, HADDI K, HAJJAR M J, ISMOILOV K, JAWORSKI C C, KENIS M, LIU H T, MADADI H, MARTIN T, MAZIH A J, MESSELINK G, MOHAMED S A, NOFEMELA R S, OKE A, RAMOS C, RICUPERO M, RODITAKIS E, SHASHANK P R, WAN F H, WANG M H, WANG S, ZHANG Y B, BIONDI A, 2022. Integrated pest management of *Tuta absoluta*: practical implementations across different world regions. *Journal of Pest Science*, 95: 17-39.
- DESNEUX N, LUNA M G, GUILLEMAUD T, URBANEJA A, 2011. The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*, 84(4): 403-408.
- DESNEUX N, WAJNBURG E, WYCKHUYS K A G, BURGIO G, ARPAIA S, NARVAEZ-VASQUEZ C A, GONZALEZ-CABRERA J, CATALAN RUESCAS D, TABONE E, FRANDON J, PIZZOL J, PONCET C, CABELLO T, URBANEJA A, 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83: 197-215.
- FAO, 2018. FAOSTAT. [2021-11-14]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- GHADERI S, FATHIPOUR Y, ASGARI S, 2018. Population density and spatial distribution pattern of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(3): 543-556.

- HAN P, BAYRAM Y, SHALTIEL-HARPAZ L, SOHRABI F, SAJI A, ESENALI U T, JALILOV A, ALI A, SHASHANK P R, ISMOILOV K, LU Z Z, WANG S, ZHANG G F, WAN F H, BIONDI A, DESNEUX N, 2019. *Tuta absoluta* continues to disperse in Asia: damage, ongoing management and future challenges. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1317–1327.
- HAN P, NIU C Y, LEI C L, CUI J J, DESNEUX N, 2010. Use of an innovative T-tube maze assay and the proboscis extension response assay to assess sublethal effects of GM products and pesticides on learning capacity of the honey bee *Apis mellifera*. *Ecotoxicology*, 19(8): 1612–1619.
- HAN P, ZHANG Y N, LU Z Z, WANG S, MA D Y, BIONDI A, DESNEUX N, 2018. Are we ready for the invasion of *Tuta absoluta*? Unanswered key questions for elaborating an integrated pest management package in Xinjiang, China. *Entomologia Generalis*, 38(2): 113–125.
- JAWORSKI C C, CHAILLEUX A, BEAREZ P, DESNEUX N, 2015. Apparent competition between major pests reduces pest population densities on tomato crop, but not yield loss. *Journal of Pest Science*, 88(4): 805–806.
- KECECI M, OZTOP A, 2017. Possibilities for biological control of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in the western Mediterranean Region of Turkey. *Turkiye Entomoloji Dergisi-Turkish Journal of Entomology*, 41(2): 219–230.
- MOHAMMED A A A H, DESNEUX N, FAN Y, HAN P, ALI A, SONG D, GAO X W, 2018. Impact of imidacloprid and natural enemies on cereal aphids: integration or ecosystem service disruption? *Entomologia Generalis*, 37(1): 47–61.
- OZTEMİZ S, KUTUK H, PORTAKALDALI M, 2012. Biological control of tomato leafminer (Lepidoptera: Gelechiidae) on greenhouse-grown tomato in Turkey. *Journal of Entomological Science*, 47(3): 272–274.
- PALISADE C, 2018. Guide to using @RISK. [2021–11–14]. <https://www.palisade.com/risk>.
- PIMENTEL D, 2000. Biological control of invading species. *Science*, 289: 869–869.
- POTTING R P J, VAN DER G D J, LOOMANS A, VAN DER STRATEN M, ANDERSON H, MACLEOD A, CASTRILLON J M G, CAMBRAG V, 2013. *Tuta absoluta*, tomato leaf miner moth or South American tomato moth. Utrecht: Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality Plant Protection Service of the Netherlands.
- RODITAKIS E, VASAKIS E, GARCIA-VIDAL L, DEL ROSARIO MARTINEZ-AGUIRRE M, LUC RISON J, ODILE HAXAIRE-LUTUN M, NAUEN R, TSAGKARAKOU A, BIELZA P, 2018. A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner *Tuta absoluta* in the European/Asian region. *Journal of Pest Science*, 91(1): 421–435.
- RODITAKIS E, VASAKIS E, GRISPOU M, STAVRAKAKI M, NAUEN R, GRAVOUIL M, BASSI A, 2015. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *Journal of Pest Science*, 88(1): 9–16.
- SANTANA P A J R, KUMAR L, DA SILVA R S, PICANCO M C, 2019. Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change. *Journal of Pest Science*, 92(4): 1373–1385.
- TAYLOR A S, COOK D C, 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.
- SRIDHAR V, CHAKRAVARTHY A K, ASOKAN R, VINESH L S, REBIJITH K B, VENNILA S, 2014. New record of the invasive South American tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 20(2): 148–154.
- WANG M H, ISMOILOV K, LI H, ZHANG X, LU Z Z, FENG L K, DAI H J, YE Z P, BIONDI A, DESNEUX N, HAN P, 2021. Polygyny of *Tuta absoluta* may affect sex pheromone-based control techniques. *Entomologia Generalis*, 41(4): 357–367.
- XIAN X, HAN P, WANG S, ZHANG G, LIU W, DESNEUX N, WAN F, 2017. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in China. *Entomologia Generalis*, 36(4): 319–333.
- ZHANG G F, XIAN X Q, ZHANG Y B, LIU W X, LIU H, FENG X D, MA D Y, WANG Y S, GAO Y H, ZHANG R, LI Q H, WAN F H, FU W J, WANG J, KUANG M, YANG W J, RAO X, GAO Y, DAI A M, 2021. Outbreak of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta*, in the Chinese mainland: geographic and potential host range expansion. *Pest Management Science*, 77(12): 5475–5488.

(责任编辑:郭莹)