

黄斑长翅卷叶蛾在中国适生区的 预测及风险评估*

闫文静** 曹玉*** 尚北辰 张悦 杨国 刘俊杰

(塔里木大学农学院, 阿拉尔 843300)

摘要 【目的】以黄斑长翅卷叶蛾 *Acleris fimbirana* Thunberg 发育起始温度及有效积温为基础, 采用 CLIMEX 系统对黄斑长翅卷叶蛾在中国的潜在适生性的区域作出预测, 研究黄斑长翅卷叶蛾的风险扩散性, 以期对黄斑长翅卷叶蛾制定综合管理策略提供量化参考。【方法】研究 5 个恒温 (18、21、24、27 和 30 °C) 对黄斑长翅卷叶蛾发育历期的影响, 得到黄斑长翅卷叶蛾的发育起始温度和有效积温, 并在此基础上, 采用 CLIMEX 系统对黄斑长翅卷叶蛾在中国的适生性区域进行预测。并用有害生物风险综合分析方法对黄斑长翅卷叶蛾进行风险评估。【结果】随着温度升高, 黄斑长翅卷叶蛾的生长速率加快。黄斑长翅卷叶蛾发育起点温度为 (10.59±0.35) °C, 完成一个世代有效积温为 (560.60±33.19) 日·度, 在新疆一年完成 3.51 个世代。通过 CLIMEX 和 ArcGIS 分析, 黄斑长翅卷叶蛾的适生范围较广, 适生区面积为 579.75 万 km², 其中高适生度面积可达 94.39 万 km², 尤以河南、河北、陕西、山西适生度最高。新疆属于中低度发生区域, 在新疆大部分地区均有潜在的威胁。通过有害生物风险综合分析方法得出该虫风险值评价指标体系 *R* 值为 1.972。【结论】黄斑长翅卷叶蛾在我国 60% 的地区都可能发生, 在我国属于中度危险有害生物, 对我国林果业具有较高的风险, 需要加强预警系统与制定除治措施, 以期降低在我国的风险。

关键词 黄斑长翅卷叶蛾; 发育历期; 有效积温; CLIMEX; 风险评估

Acleris fimbirana Thunberg risk assessment and predicting its potential geographical distribution in China

YAN Wen-Jing** CAO Yu*** SHANG Bei-Chen ZHANG Yue
YANG Guo LIU Jun-Jie

(College of Agronomy, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract [Aim] Based on the initial temperature and effective accumulated temperature for the development of *Acleris fimbirana* Thunberg the CLIMEX system was used to predict the potential habitat of *A. fimbirana*. Additionally, the risk diffusion of *A. fimbirana* was analyzed to provide a quantitative reference for the formulation of comprehensive management strategies for this species. [Methods] The effects of five constant temperatures (18, 21, 24, 27 and 30 °C) on the development duration of *A. fimbirana* were examined. Based on this, the developmental starting temperature and effective accumulated temperature of *A. fimbirana* were obtained and the CLIMEX system was used to predict the optimal geographical regions for *A. fimbirana* within China. Furthermore, a comprehensive pest risk analysis method was used to assess the potential risks associated with *A. fimbirana*. [Results] The growth rate of *A. fimbirana* increased with increasing temperature. The initial temperature and effective accumulated temperature for *A. fimbirana* were (10.59±0.35) °C and (560.60±33.19) degree-days, respectively. Additionally, a total of 3.51 generations per year were completed in Xinjiang. Based on the

*资助项目 Supported projects: 国家级大学生创新项目 (201410757035)

**第一作者 First author, E-mail: 2276701287@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: Talimu6062@163.com

收稿日期 Received: 2023-08-22; 接受日期 Accepted: 2024-02-03

CLIMEX and ArcGIS analyses, potential suitable habitat for *A. fimbriana* was found to span 5 797 500 km². Within this, the area of highest adaptability spans up to 943 900 km², including Henan, Hebei, Shannxi and Shanxi, which had the highest fitness range for *A. fimbriana*. Xinjiang was classified as a low-to-moderate occurrence area, although there is a potential threat of *A. fimbriana* spreading to most parts of this region. **[Conclusion]** Based on this findings of this study, *A. fimbriana* has the potential to inhabit up to 60% of China's regions. Hence, it poses a significant threat in China, particularly within the forestry and fruit industry. Thus, proactive measures such as early warning systems and effective control measures are crucial in mitigating the potential impact and reducing the associated risks in China.

Key words *Acleris fimbriana* Thunberg; developmental duration; effective accumulated temperature; CLIMEX; risk assessment

黄斑长翅卷叶蛾 *Acleris fimbriana* Thunberg 是新疆常见的果树害虫之一, 以为害果树为主, 在新疆尤以杏树 *Prunus armeniaca* L.、桃树 *Amygdalus persica* L. 危害最为严重, 对新疆林果业发展造成一定的威胁 (张仁福, 2011c)。幼虫喜食鲜嫩的幼叶, 严重阻碍了新梢正常生长, 危害率达到 23% 以上, 严重年份新梢嫩叶被害率 80%, 造成大量树叶脱落, 造成果实产量和品质的严重下降, 甚至导致绝收 (马瑞燕等, 2000)。黄斑长翅卷叶蛾具有危害重、寄主多、分布广及世代多等特点, 其危害有蔓延扩大的趋势。其幼虫吐丝卷叶, 藏于其中取食, 导致药剂不易接触到虫体, 防治困难 (张仁福等, 2011a)。因此, 明确黄斑长翅卷叶蛾的发育起始温度及有效积温参数, 预测其潜在的地理分布, 对黄斑长翅卷叶蛾的预警及科学防治具有重要意义。

目前关于黄斑长翅卷叶蛾研究主要集中在生物生态学特性与防治措施方面, 未有关于黄斑长翅卷叶蛾潜在地理分布区域报道。马瑞燕等 (1993, 2000) 确定了黄斑长翅卷叶蛾的取食习性、生物学习性、求偶行为, 并用扫描电镜观察了黄斑长翅卷叶蛾的性信息素腺体超微结构。张仁福等 (2011b) 调查了黄斑长翅卷叶蛾幼虫空间分布, 发现上部虫口密度大于中下部。刘永华等 (2019) 研究不同温度对黄斑长翅卷叶蛾的生长发育的影响, 但是未从地理分布上进行预测。

温度是影响昆虫生长发育的最重要因子之一, 通过人工饲养控制恒定温度, 可明确昆虫发育历期、发育起始温度及有效积温的重要参数 (Campbell *et al.*, 1974; 唐业忠等, 1993)。生产实践中可用来推测昆虫的发生世代数、地理分

布 (刘永华等, 2016)。CLIMEX 软件通过昆虫发育起点温度和有效积温生物学参数, 结合环境气候因子推测昆虫适生区域分布及相对丰度。CLIMEX 软件是一种动态的模拟过程, 该模型认为温度、湿度和降水气候因子决定昆虫的地理分布及种群数量, 利用数学模型归纳其生态位需求, 即使在有限的信息下, 也能在一定程度上对昆虫地理分布提供有价值的信息 (Pattison and Mack, 2008; Huang, 2019; Early *et al.*, 2022)。

本试验设置 5 个恒定温度, 测定了黄斑长翅卷叶蛾的有效积温和发育起点温度, 并在此基础上利用 CLIMEX 软件对黄斑长翅卷叶蛾在中国潜在适生区进行了预测, 并对黄斑长翅卷叶蛾进行了风险评估, 为黄斑长翅卷叶蛾的预测预警及综合防治提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 发育起点温度和有效积温测定

1.1.1 虫源采集和试验材料 采集地点为新疆阿拉尔地区桃园 (80°30'-81°58'E, 40°22'-40°57'N)。将采集的黄斑长翅卷叶蛾老熟幼虫、蛹单头装入指形管后放入人工气候箱内 (气候箱类型为 RHZ 智能型, 宁波江南仪器厂), 保持温度 (23 ± 1) °C、相对湿度 75% ± 7%、光周期 15 L : 9D, 待羽化为成虫作为供试虫源 (成虫)。将羽化后的一雌一雄成对放入一次性塑料杯内, 用纱布封口, 杯内放置蘸有 10% 蜂蜜水的棉球。每天 8:00 和 20:00 时观察产卵情况, 将带有黑头的卵剪下。

1.1.2 试验方法 将同一天的带有黑头的卵 (卵日龄 < 12 h) 放置同一培养皿 (直径 = 7.5 cm) 内,

以保鲜膜封口,并用昆虫针在保鲜膜上扎若干个孔。随即将培养皿置于饲养条件为 18、21、24、27 和 30 °C,相对湿度 75% ± 7%、光周期 15L : 9D 的人工气候箱内,当卵出现幼虫时,培养皿放置叶柄处包有保湿棉球的无农药残留的桃叶,每只培养皿接幼虫 5 只。每 4 h 观察一次卵的孵化情况,当卵孵化出幼虫开始食叶后,记录下起始时间。饲养期间每日更换新鲜桃叶,每日 8:00 和 20:00 各观察昆虫的生长发育,记录卵到幼虫、幼虫化蛹、羽化时间。成虫羽化后,将对成虫移至一次性塑料杯中,观察并记录成虫存活时间。每个温度处理 1 000 粒卵(耿书宝等, 2022)。

1.1.3 数据处理 试验数据通过 Excel 2019 和 SPSS 18.0 进行分析。采用最小二乘法计算有效积温 C 与发育起点温度 K 及各自的标准差 S_k 、 S_c (王如松, 1982; Honěk, 2013), 计算公式如下:

$$K = \frac{nv\sum T - \sum V\sum T}{n\sum V^2 - (\sum V)^2},$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum(T - T')^2}{(n-2)\sum(V - \bar{V})^2}},$$

$$C = \frac{\sum V^2\sum T - \sum V\sum VT}{n\sum V^2 - (\sum V)^2},$$

$$S_c = \frac{\sum(T - T')^2}{n-2} \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum(V - \bar{V})^2} \right].$$

其中: K 为有效积温(°C), C 为发育起点温度(°C), T 为饲养温度(°C), $T' = C + KV$ 为温度的计算值, n 为实验组数, N 为发育历期(d), V 是发育速度 $V=1/N$ 。时培建(2011)提出有效积温法则衍生出的线性模型,任一温度条件下,昆虫完成某一特定阶段发育所需要的积温是一个常数,计算在发育速率与温度之间存在线性关系,计算公式: $K=N(T-C)$, 其中 $V=1/N$, 得到 $T=C+KV$ 。

1.2 适生区预测

1.2.1 适生性参数的确定 黄斑长翅卷叶蛾发育起点温度和有效积温通过计算得到,并根据发育起点温度和有效积温参数代入软件,并根据黄斑长翅卷叶蛾在中国实际地理分布情况,进行反

复调试确定 17 个参数,覆盖报道发生的全部区域。

1.2.2 地理信息数据及分析方法 本研究采用 CLIMEX 3.0 软件,该软件通过已知的物种生态学数据及地理环境数据进行分析,预测该物种潜在地理分布。该软件由澳大利亚科学与工业研究组织 Anderson 等开发(<https://www.hearne.software/Software>)。软件自带中国大陆 1960-1990 年的 86 个气象站点的数据的平均值。GIS 分析底层图是 1 000 万中国行政区划图(从自然资源部网站下载标准地图,网址: <http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)。根据 ArcGIS 10.4 软件的插值分析功能,结果由点图转化成面图,并利用其栅格转面工具,计算出黄斑长翅卷叶蛾不同适生区在中国比例及面积。将 EI 值划分为 4 个等级:将 EI = 0 视为非适生区、0 < EI ≤ 15 视为低度适生区、15 < EI ≤ 25 视为中度适生区、EI > 25 视为高度适生区 4 个等级。

1.3 多指标定量评估黄斑长翅卷叶蛾的风险性

参照蒋青等(1994)有害生物风险分析方法,并结合黄斑长翅卷叶蛾在中国发生的实际情况与 CLIMEX 软件的适生性分析结果,对黄斑长翅卷叶蛾进行风险分析。根据 R 值大小,可将风险程度划分为 4 级, R 值在 3.0-2.5 为极高风险, 2.4-2.0 为高风险, 1.9-1.5 为中风险, 1.4-1.0 为低风险。

2 结果与分析

2.1 不同温度对黄斑长翅卷叶蛾发育历期及发育速度的影响

黄斑长翅卷叶蛾在 18-30 °C 范围内均可完成全世代,温度对黄斑长翅卷叶蛾发育历期有显著影响如表 1,黄斑长翅卷叶蛾在 18 °C 完成一个世代历期最长,可达 73.03 d,发育较慢,而 30 °C 下仅需要 28.25 d,说明温度越高,该虫发育速度越快,完成一个世代所需要的时间越短。温度大大缩短了成虫产卵前期的时间,30 °C 下,昆虫产卵前期只需 1.12 d,而 18、21 和 24 °C 下产卵前期为 7.35、5.23 和 3.12 d,说

明随着温度越高, 成虫产卵前期的时间大大缩短了。在不同温度下, 幼虫的生长发育时间较其他虫态较长, 其中 18 °C 下, 幼虫发育时间可达 34.40 d, 其他虫态所需时间较短, 这将导致幼虫在田间取食危害时间变长。

2.2 黄斑长翅卷叶蛾各虫态的发育起始温度及有效积温

根据表 1 数据, 由最小二乘法得出黄斑长翅卷叶蛾各虫态的发育起点温度、有效积温及对应的标准差, 并拟合发育速率与温度之间的线性关系, 见表 2。黄斑长翅卷叶蛾完成一个世代所需有效积温为 560.6 日·度, 其中幼虫完成发育所需

有效积温最高, 为 381.14 日·度。产卵前期发育起始温度最高, 为 13.27 °C, 这与昆虫产卵需要较高的温度有关, 确保产下的卵能够在适宜的温度下进行孵化。卵、蛹的发育起始温度均为 10 °C 以上, 幼虫的发育起始温度较低, 在 7.26 °C 时可正常生长发育。

根据中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>) 提供的数据, 阿拉尔 40 年来气象资料表明 4-10 月作物生长季节平均气温 19.80 °C, 总积温为 $(19.80 - 10.59) \times 214 = 1970.94$ 日·度, 因此黄斑长翅卷叶蛾在阿拉尔地区 4-10 月发生的理论代数 $1970.94/560.6 = 3.51$ 代。这与我们田间调查的数据相吻合。

表 1 不同温度下的黄斑长翅卷叶蛾的发育历期及发育速度

Table 1 Development period and development rate of *Acleris fimbriana* under different temperatures

温度 (°C) Temperatures (°C)	卵期 Egg		幼虫 Larva		蛹 Pupa		产卵前期 Preoviposition		全世代 Whole generation	
	d	V	d	V	d	V	d	V	d	V
18	14.24	0.079 6	34.40	0.029 5	17.01	0.068 7	7.35	0.1361	73.03	0.013 5
21	9.23	0.121 1	28.90	0.035 2	11.25	0.095 1	5.23	0.1912	54.61	0.017 0
24	7.35	0.143 5	21.80	0.048 9	8.89	0.133 3	3.12	0.3205	41.16	0.022 1
27	6.01	0.181 8	20.10	0.052 9	7.46	0.170 6	2.30	0.4348	35.87	0.027 9
30	5.12	0.210 1	16.63	0.071 6	5.50	0.204 9	1.12	0.8929	28.25	0.035 4

d 表示昆虫发育天数, V 表示昆虫生长速度。

d represented the number of days of insect development, and V represented the insect growth rate.

表 2 黄斑长翅卷叶蛾虫态发育起点温度与有效积温

Table 2 Threshold temperature and effective accumulated temperature of *Acleris fimbriana*

发育阶段 Developmental stage	发育起始温度 (°C) Developmental threshold temperature (°C)	有效积温 K (日·度) Effective accumulated temperature (degree·days)	回归方程 regression equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient
卵期 Egg stage	10.87 ± 0.45	97.03 ± 3.15	$T = 10.87 + 97.03V$	0.996 9
幼虫期 Larval stage	7.26 ± 1.34	381.14 ± 29.71	$T = 7.26 + 381.14V$	0.882 1
蛹期 Pupal stage	12.40 ± 0.48	100.71 ± 3.94	$T = 12.40 + 100.71V$	0.977 1
产卵前期 Preoviposition period	13.27 ± 1.69	14.50 ± 3.53	$T = 18.27 + 14.50V$	0.949 3
全世代 All generations	10.59 ± 0.35	560.60 ± 33.19	$T = 10.59 + 560.60V$	0.989 5

2.3 基于 CLIMEX 预测黄斑长翅卷叶蛾在中国适生区分布

CLIMEX 软件用已知的昆虫发生的地理分

布信息, 推测潜在的发生区域。根据黄斑长翅卷叶蛾的实际地理分布, 将 2.3 的黄斑长翅卷叶蛾发育起始温度及发育历期的结果输入到 CLIMEX

软件中,反复调整参数值,使预测图与该物种的已知分布区达到吻合,再用最终确定的参数

预测黄斑长翅卷叶蛾在中国的潜在分布,详见表 3。

表 3 黄斑长翅卷叶蛾 CLIMEX 参数值
Table 3 Parameters values of CLIMEX of the *Acleris fimbriana*

CLIMEX 参数 CLIMEX parameters	初始参数 Initial parameters	调整后参数 Adjusted parameters
发育起始温度 Developmental threshold temperature	7.26	7.26
适宜温度下限 Lower optimum temperature	18	18
适宜温度上限 Upper optimum temperature	30	30
最高温度阈值 Maximum threshold temperature	35	35
发育所需最低土壤湿度阈值 Lower threshold of soil moisture	0.02	0
发育所需最适土壤湿度下限 Lower limit of optimum soil moisture	0.08	0.02
发育所需最适土壤湿度上限 Upper limit of optimum soil moisture	1	0.8
发育所需最适最高土壤湿度 The most suitable soil moisture required for development	1.5	1.2
冷胁迫温度阈值 Cold stress temperature threshold	2	2
冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate	0.01	0.01
热胁迫阈值 Heat stress temperature threshold	38	40
热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate	0.005	0.004
干胁迫土壤湿度阈值 Dry stress soil moisture threshold	0.08	0.02
干胁迫土壤湿度积累速率 Dry stress accumulation rate	- 0.005	- 0.001
湿胁迫土壤湿度阈值 Wet stress soil moisture threshold	1	1
湿胁迫积累速率 Wet stress accumulation rate	0.002	0.002
有效积温 Effective accumulated temperature	560.6	560.6

调试参数后结果利用 ArcGIS 作图,完全覆盖实际已经发生区域,得到黄斑长翅卷叶蛾适生区范围见图 1。黄斑长翅卷叶蛾寄主果树范围广,在中国南北部均可发生。从 CLIMEX 模型预测黄斑长翅卷叶蛾在中国的潜在地理分布图(图 1)可以看出河北大部分区域、河南南部、陕西大部分、山西南部、山东北部、云南大部、四川、广西适生区最高,其中山东、云南、四川、广西未见黄斑长翅卷叶蛾报道,是由 CLIMEX 软件分析得出,一旦发生,危害程度会比较严重。辽宁北部、吉林北部、黑龙江大部、内蒙古、新疆西北部是中度适应区。黑龙江大部、广东、福建小部、江西是低度适应区,湖南、浙江是非适宜区。甘肃、西藏的南部有零星的中低适生区域,由于

甘肃、西藏特殊地理环境,生态环境比较脆弱,一旦发生,防治困难,生态恢复慢。

由表 4 基于 CLIMEX 分析黄斑长翅卷叶蛾在中国适生性分布面积可以看出,非适生区面积占比 39.61%,适生区面积占比 60.39%。根据预测,黄斑长翅卷叶蛾的适生区主要集中在中适应区和低适应区,给林果业造成潜在威胁。高适应区发生面积占比比例比较低,为 13.39%,有 94.39 万 km²,但是一旦发生,将对田间林果造成致命性打击。河南、山西、陕西已经发生的区域,主要是高适生区,给防治带来困难。

2.4 黄斑长翅卷叶蛾风险性分析

2.4.1 分布状况(P₁)

根据文献报道,黄斑长

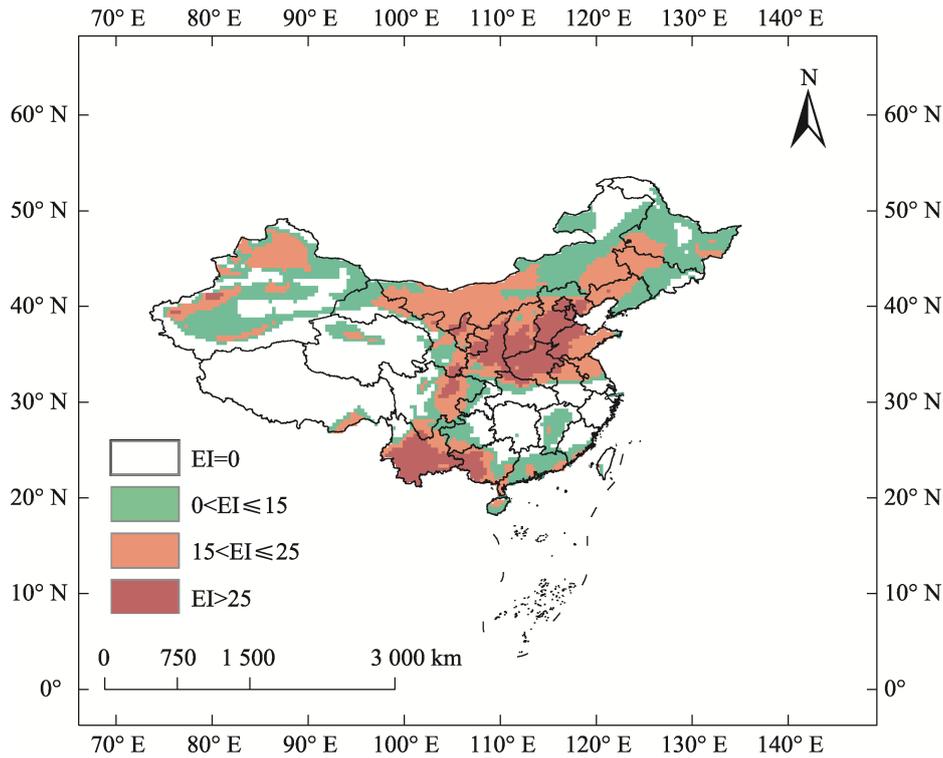


图 1 CLIMEX 模型预测黄斑长翅卷叶蛾的中国的潜在地理分布图[审图号: 京审字(2024)G第1255号]

Fig. 1 Potential geographical distribution of the *Acleris fimbriana* predicted by the CLIMEX model in China

表 4 基于 CLIMEX 分析黄斑长翅卷叶蛾在中国适生性分布面积

Table 4 Suitability distribution area of *Acleris fimbriana* in China based on CLIMEX analysis

适生区 Suitable area	比例 (%) Proportion (%)	面积 ($\times 10^4$ km ²) Acreage ($\times 10^4$ km ²)
非适生区 Non-suitable area	39.61	380.25
低适生区 Low suitable area	27.36	262.69
中适生区 Medium suitable area	23.19	222.66
高适生区 High suitable area	13.39	94.39

翅卷叶在新疆库车与和田(张仁福等, 2008)、辽宁朝阳(高鹏飞, 2018)、河北乐亭(晁向英, 2008)、山西大部分地区(李连昌, 1982)、陕西榆林(刘永华等, 2019)、河南北部地区(刘大瑛等, 2001)均有分布。CLIMEX 预测黄斑长翅卷叶蛾在我国适生区面积为 579.74 万 km², 占全国总面积的 60.39%。根据国门生物安全基础数据信息资源平台发布 (<http://www.pestchina.com>) 最新公布的数据, 黄斑长翅卷叶蛾在德国、挪威、中国、日本、匈牙利、意大利均有分布。

2.4.2 危害性 (P₂) 黄斑长翅卷叶蛾 1-2 龄幼虫仅食叶肉, 并将叶啃食成网状, 食量较小。3

龄后蚕食叶片, 食量增加, 并且吐丝卷叶, 将 5-8 片叶簇卷曲成团, 潜在其中取食叶片与顶梢幼嫩组织。幼虫排出的粪便, 造成叶片得霉污病。后期有果时, 咬食果皮, 一般年份虫果率达 30% (刘大瑛等, 2001), 严重影响果实品质。黄斑长翅卷叶蛾成虫取食花蜜, 一些检疫性病菌可能随着成虫田间飞行传播检疫性有害生物, 例如李属坏死环斑病毒、梨火疫病病菌与亚洲梨火疫病病菌等 (崔红光, 2013; 马翔宇, 2023)。

2.4.3 寄主植物的经济重要性 (P₃) 黄斑长翅卷叶蛾卷叶寄主植物达 10 种以上, 比如苹果、梨、桃、李、杏、山荆子、海棠、红肉苹果、柱

状苹果、樱桃（张仁福，2011c）。调查发现，苹果树和桃树上的虫口密度分别占食叶害虫总数的 27%和 83%（马瑞燕等，2000）。截止 2022 年底苹果出口量为 820 000 吨（中华人民共和国国家统计局，2023），近 10 年列我国水果出口第一位置，黄斑长翅卷叶蛾对我国苹果出口创汇有较大的影响。黄斑长翅卷叶蛾对新疆杏产业构成巨大威胁，杏作为新疆特色林果业，2023 年底种植面积为 116 287 hm²（新疆维吾尔自治区统计局，2023）。根据我们调查的桃园，桃树近乎绝收。黄斑长翅卷叶蛾一旦爆发，对经济的损失是不可估量的。

2.4.4 传播扩散的可能性 (P₄) 黄斑长翅卷叶蛾扩散方式主要有自然扩散和人类活动介导的扩散。黄斑长翅卷叶蛾幼虫可以近距离爬行，成虫具迁飞的特性。黄斑长翅卷叶蛾的卵主要产在叶片背面，随着人为苗木调运而传播（李连昌等，1982）。卷叶科昆虫通常抗逆性较强，迁移过程中存活率较高，运输中有害生物存活率在 40%以上（史惠玲等，2008）。黄斑长翅卷叶蛾在 25 °C 下雌成虫平均产卵量为 175.45 粒（刘永华等，2019），繁殖力强，利于种群的快速扩增，对寄主植物造成严重危害。目前国内外对黄斑长翅卷叶蛾重视程度不够。

2.4.5 风险管理难度 (P₅) 黄斑长翅卷叶蛾卵

是椭圆形乳白色，幼虫体绿色，蛹为深褐色，与其他鳞翅目的卵、幼虫、蛹形态有许多相似之处，非专业人士识别困难。黄斑长翅卷叶蛾有冬成虫与夏成虫之分，区分容易。夏型成虫头胸和前翅为金黄色，翅面有银白鳞片，后翅灰白色，冬型成虫头胸和前翅为深灰或褐色，翅面有黑色的鳞片（高鹏飞，2018）。黄斑长翅卷叶蛾与卷叶蛾属的卵、幼虫、蛹相似度较高，鉴定难度大。由于幼虫卷叶藏匿其中，田间药剂防治幼虫效果较差。糖醋酒液、性激素对成虫进行诱杀，效果良好。现有除害处理方法几乎完全不能杀死黄斑长翅卷叶蛾（马瑞燕等，1997；刘永华等，2018）。

2.5 定量分析

根据各级评判指标及赋分值，根据有害生物风险性分析定量计算公式，算出各项指标 P 值和综合风险值 R。

国内分布情况：P₁=2，
 潜在经济危害：P₂=0.6P₂₁+0.2P₂₂+0.2P₂₃=2.4，
 寄生物的可能性：P₃=max(P₃₁,P₃₂,P₃₃)=3，
 传播扩散的可能性：P₄=(P₄₁×P₄₂×P₄₃×P₄₄×P₄₅)^{1/5}=1.782，
 危害性管理难度：P₅=(P₅₁+P₅₂+P₅₃)/3=2.33，
 风险性：R=(P₁×P₂×P₃×P₄×P₅)^{1/5}=1.972。

表 5 黄斑长翅卷叶蛾风险分析评判指标附分值
 Table 5 Numerical value of risk analysis index of *Acleris fimbirana*

序号 Serial no.	评判指标 Evaluation index	评判标准 Evaluation criteria	赋分值 Score	赋分理由 Score reason
1	国内分布状况 (P ₁)	无分布 P ₁ =3; 分布面积 0-20%, P ₁ =2; 分布面积 20%-50%, P ₁ =1; 分布面积 > 50%, P ₁ =0	2	目前报道在新疆、辽宁、河北、山西、陕西、河南均有分布
2	为害性 (P ₂)			
2.1	潜在经济危害性 (P ₂₁)	造成产量损失 20%以上, 和 (或) 严重降低作物产品质量, P ₂₁ =3; 产量损失为 5%-20%, 和 (或) 有较大质量损失, P ₂₁ =2; 产量损失为 1%-5%, 和 (或) 有较小的质量损失, P ₂₁ =1; 产量损失 < 1%, 且对质量无影响, P ₂₁ =0	3	预计产量损失在 20%以上
2.2	是否为其他检疫性有害 (P ₂₂)	可传带 3 种以上检疫性有害生物, P ₂₂ =3; 传带 2 种, P ₂₂ =2; 传带 1 种, P ₂₂ =1; 不传带任何检疫性有害生物, P ₂₂ =0	3	该虫的寄主可能会携带其他生物传播媒介

续表 5 (Table 5 continued)

序号 Serial no.	评判指标 Evaluation index	评判标准 Evaluation criteria	赋分值 Score	赋分理由 Score reason
2.3	国外重视程度 (P ₂₃)	如有 20 个以上国家把某一有害生物列为检疫对象, P ₂₃ =3; 10-19 个, P ₂₃ =2; 1-9 个, P ₂₃ =1; 无, P ₂₃ =0	0	卷叶蛾类种类多, 危害重, 但是国内外对黄斑长翅卷叶蛾重视程度较低, 未列入检疫对象
3	受害栽培寄主 经济重要性 (P ₃)			
3.1	受害栽培寄主 种类 (P ₃₁)	受害栽培寄主达 10 种以上, P ₃₁ =3; 5-9 种, P ₃₁ =2; 1-4 种, P ₃₁ =1; 无, P ₃₁ =0	3	寄主植物 10 种以上
3.2	受害栽培寄主 面积 (P ₃₂)	受害栽培寄主总面积达 350 万 hm ² 以上, P ₃₂ =3; 150 万-350 万 hm ² , P ₃₂ =2; 面积 < 150 万 hm ² , P ₃₂ =1; 无, P ₃₂ =0	2	受害植物在 150 万-350 万 hm ²
3.3	受害栽培寄主 的特殊经济价值 (P ₃₃)	根据其应用价值、出口创汇等方面, 由专家判断定级, P ₃₃ =3、2、1、0	3	对其应用价值和出口创汇影响较大
4	移植可能性(P ₄)			
4.1	截获难易 (P ₄₁)	有害生物经常被截获, P ₄₁ =3; 偶尔被截获, P ₄₁ =2; 从未截获或历史上只截获过少数几次, P ₄₁ =1; 因现有检验技术的原因, 本项不设 0 级	1	目前尚未截获报道
4.2	运输中有害生 物存活率 (P ₄₂)	运输中有害生物存活率在 40%以上, P ₄₂ =3; 在 10%-40%, P ₄₂ =2; 在 0-10%, P ₄₂ =1; 存活率为 0, P ₄₂ =0	3	在口岸截获的大多是活虫, 存活率在 40%以上
4.3	国外分布广否 (P ₄₃)	在世界 50%以上的国家有分布, P ₄₃ =3; 在 25%-50%, P ₄₃ =2; 在 0-25%, P ₄₃ =1; 无分布 P ₄₃ =0	1	德国、挪威、中国、日本、匈牙利、意大利均有分布
4.4	国内的适生范 围 (P ₄₄)	在国内 50%以上的地区能够适生, P ₄₄ =3; 在 25%-50%, P ₄₄ =2; 在 0-25%, P ₄₄ =1; 适生范围为 0, P ₄₄ =0	3	根据以上 CLIMEX 预测分析结果
4.5	传播力 (P ₄₅)	气传有害生物, P ₄₅ =3; 由活动力很强的介体传播的有害生物, P ₄₅ =2; 土传及传播力很弱的有害生物, P ₄₅ =1; 该项不设 0 级	2	贸易活动远距离传播
5	危险性管理难 度 (P ₅)			
5.1	检验鉴定难度 (P ₅₁)	现有检验鉴定方法可靠性很低, 花费时间很长, P ₅₁ =3; 检验鉴定方法非常可靠且简便快速, P ₅₁ =0; 介于之间, P ₅₁ =2、1、0	1	现有的成虫鉴定方法较可靠, 但幼虫鉴定难度大, 培养鉴定周期长, 专业技术要求高
5.2	除害处理难度 (P ₅₂)	现有除害处理方法几乎完全不能杀死有害生物, P ₅₂ =3; 除害率在 50%以下, P ₅₂ =2; 除害率在 50%-100%, P ₅₂ =1; 除害率为 100%, P ₅₂ =0	3	彻底灭杀困难
5.3	根除难度 (P ₅₃)	田间防治效果差, 成本高, 难度大, P ₅₃ =3; 田间防治效果显著, 成本很低, 简便, P ₅₃ =0; 介于之间, P ₅₃ =2	3	田间药剂防治幼虫效果不好

综合判定, 定量分析, 计算出黄斑长翅卷叶蛾 $R=1.972$, 表明黄斑长翅卷叶蛾对中国具有中度风险。

3 讨论

昆虫属变温生物, 对保持和调节体温的能力不强 (彩万志等, 2011), 自身的发育历期及发育速率受到温度影响较大, 室内试验结果仍然具有重要的参考价值。卵、蛹和全世代的有效积温的回归方程相关系数达到 0.9 以上, 说明拟合曲线的准确性较高。明确昆虫的发育起点温度和有效积温, 为测报黄斑长翅卷叶蛾的种群发生期提供参考。我国具有多样的地理生态条件, 由于 CLIMEX 只选择了我国 86 个气象站点的气象资料, 因此目前的预测仍显粗糙, 但仍可为综合防治提供量化参考。

本研究中, 在室内恒温条件下 (18、21、24、27 和 30 °C), 发育速度与温度成正比关系, 随着温度升高, 卵、幼虫、蛹、成虫的发育速度加快, 这与其它昆虫与温度的关系研究结果基本一致 (勾文山等, 2022; 罗丽林等, 2022)。通过最小二乘法得出黄斑长翅卷叶蛾的有效积温是 560.6 °C, 这与刘永华等 (2019) 研究黄斑长翅卷叶蛾的有效积温不同, 刘永华等研究表明, 陕西黄斑长翅卷叶蛾的有效积温为 821.12 °C, 这可能与黄斑长翅卷叶蛾不同地理环境下的光照强度有关。研究表明, 有效积温在不同生态条件下差异较大 (Mironidis, 2014)。长光照下, 昆虫不发生滞育, 发育速率比短光照快 (霍祥鑫, 2022; 孟令贺等, 2022)。新疆属于光日照长的地区, 昆虫发育更快, 所需有效积温比陕西更短。本试验计算黄斑长翅卷叶蛾发育起始温度为 10.59 °C, 刘永华等 (2019) 研究表明黄斑长翅卷叶蛾发育起点温度为 10.65 °C, 发育起始温度基本一致。根据计算黄斑长翅卷叶蛾 1 年理论上发生 3.51 代, 研究结果与阿拉尔田间调查情况基本吻合。

通过拟合黄斑长翅卷叶蛾的发育起始温度及有效积温生物学参数结合 CLIMEX 环境参数,

得到黄斑长翅卷叶蛾的地理分布区域。黄斑长翅卷叶蛾在中国的适生区面积较广, 其中河北、河南、陕西、山西是高适生区, 一旦发生也最为严重, 这几个地方均有黄斑长翅卷叶蛾的报道。新疆是黄斑长翅卷叶蛾的中、低适生区, 但是新疆有大面积的特色林果业, 一旦发生, 将造成严重的经济损失。目前在新疆仅有和田和阿克苏地区有报道, 其它地区未见报道或者我们调查数据不足。本研究利用相关风险性分析方法, 从五个方面对黄斑长翅卷叶蛾进行定性和定量风险分析, 其综合风险值 R 为 1.972, 表明该虫在我国具有中度风险性。黄斑长翅卷叶蛾一旦发生, 对当地水果产量与品质造成严重的影响。对适生程度不同的地区应该采取不同的管理措施, 在已经发生的区域, 根据黄斑长翅卷叶蛾历期并结合当地气象观测资料, 预测黄斑长翅卷叶蛾的发生动态, 在其羽化高峰期进行成虫诱杀, 提高防治效果, 降低防治成本。对未发生的区域, 进行排查监测, 防止传入。

参考文献 (References)

- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL, 2011. Common Entomology (2nd ed.). Beijing: China Agricultural University Press. 381–391. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦, 2011. 普通昆虫学 (第 2 版). 北京: 中国农业大学出版社. 381–391.]
- Campbell A, Frazer BD, Gilbert N, Gutierrez AP, Mackauer M, 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11(2): 431–438.
- Chao XY, 2008. Occurrence and control of *Acleris fimbirana* Thunberg. *Deciduous Fruits*, 40(2): 55. [晁向英, 2008. 黄斑长翅卷叶蛾的发生与防治. 落叶果树, 40(2): 55.]
- Cui HG, 2013. Genetic diversity analysis and pathogenicity-associated genes determination of *Prunus necrotic ringspot virus*. Doctor dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [崔红光, 2013. 李属坏死环斑病毒遗传多样性分析和致病相关基因鉴定. 博士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Early R, Rwomushana I, Chipabika G, Day R, 2022. Comparing, evaluating and combining statistical species distribution models and CLIMEX to forecast the distributions of emerging crop pests. *Pest Management Science*, 78(2): 671–683.
- Gao PF, 2018. Study on the biological characteristics of *Acleris*

- fimbrana* Thunberg in Chaoyang area. *Jilin Agriculture*, 4(8): 76–77. [高鹏飞, 2018. 朝阳地区黄斑长翅卷叶蛾生物学特性研究. 吉林农业, 4 (8): 76–77.]
- Geng SB, Hou HL, Jiang MN, Qiao L, Yi J, Zhang FM, 2022. The lower threshold temperature and thermal constant of *Scopula subpunctaria*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(4): 794–804. [耿书宝, 侯贺丽, 江孟娜, 乔利, 尹健, 张方梅. 茶银尺蠖的发育起点温度和有效积温. 应用昆虫学报, 59(4): 794–804.]
- Gou WS, Ma WX, Liu NY, Hu GX, Sun YD, 2022. Effects of temperature on the growth, development, adult longevity and reproduction of *Leiomotopon simyrides* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(6): 1412–1420. [勾文山, 马维新, 刘宁云, 胡桂馨, 孙尧德, 2022. 温度对白刺夜蛾生长发育及成虫寿命和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(6): 1412–1420.]
- Honěk A, 2013. Geographical variation in thermal requirements for insect development. *European Journal of Entomology*, 93(3): 303–312.
- Huang MY, Ge XZ, Shi HL, Tong YG, Shi J, 2019. Prediction of current and future potential distributions of the *Eucalyptus* pest *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) in China using the CLIMEX model. *Pest Management Science*, 75(11): 2958–2968.
- Huo XX, 2021. Effects of photoperiod and light intensity on oviposition rhythm of *Grapholita molesta* Busck. Master dissertation. Zhangjiakou: Hebei North University. [霍祥鑫, 2021. 光周期和光照强度对梨小食心虫产卵节律的影响. 硕士学位论文. 张家口: 河北北方学院.]
- Jiang Q, Liang YB, Wang NY, Yao WG, 1994. Preliminary establishment of pest risk assessment index system. *Plant Quarantine*, 8(6): 331–334. [蒋青, 梁忆冰, 王乃扬, 姚文国, 1994. 有害生物危险性评价指标体系的初步确立. 植物检疫, 8(6): 331–334.]
- Li LC, Cao KC, Li RL, 1982. Study on leaf curly leaf moth of fruit trees in Shanxi I. Study of *Acleris fimbrana* Thunberg. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2(1): 62–76. [李连昌, 曹克诚, 李润临, 1982. 山西果树卷叶蛾类研究 I 黄斑长翅卷叶蛾的研究. 山西农业大学学报, 2(1): 62–76.]
- Liu DY, Zhao ZC, Xu FD, 2001. Observation and control of the harm of 6 species of *Acleris fimbrana* Thunberg of plum trees in northern Yubei. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 28(3): 42–43. [刘大璞, 赵自成, 徐发德, 2001. 豫北地区李树 6 种卷叶小蛾危害观察与防治. 江苏林业科技, 28(3): 42–43.]
- Liu YH, Yan XF, Wen DM, Lu PF, Zong SX, Luo YQ, 2016. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(3): 309–315. [刘永华, 阎雄飞, 温冬梅, 陆鹏飞, 宗世祥, 骆有庆, 2016. 温度对栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 59(3): 309–315.]
- Liu YH, Li XH, Yan XF, Wang XR, 2018. Study on attracting effect of sweet and sour liquor on *Acleris fimbriana* Thunberg. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 64 (7): 21–22. [刘永华, 李鲜花, 阎雄飞, 王晓荣, 2018. 糖醋酒液对黄斑长翅卷叶蛾诱集效果研究. 陕西农业科学, 64 (7): 21–22.]
- Liu YH, Liu J, Yan XF, He Y, 2019. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Acleris fimbriana* Thunberg (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Forest and Environment*, 39(4): 444–448. [刘永华, 刘娟, 阎雄飞, 贺英, 2019. 温度对黄斑长翅卷叶蛾生长发育及繁殖的影响. 森林与环境学报, 39(4): 444–448.]
- Luo LL, Yang GM, Long LY, Wang XH, Huang ZX, Yi TC, Luo XD, Liu M, 2022. Effects of temperature on the development and reproduction of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Journal of Plant Protection*, 49(2): 644–653. [罗丽林, 杨广明, 龙立炎, 王兴红, 黄振兴, 乙天慈, 罗雪丹, 刘曼, 2022. 温度对大蜡螟生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 49(2): 644–653.]
- Ma RY, Li LC, Shen BG, 1993. An observaion with scanning electron microscope on the surface of the sex gland of yellow totrix. *Journal of Shanxi Agricultural University Science*, 13(4): 318–320. [马瑞燕, 李连昌, 沈炳贵, 1993. 黄斑长翅卷叶蛾性信息素腺体的扫描电镜观察. 山西农业大学学报(自然科学版), 13 (4): 318–320.]
- Ma RY, Jing Y, He TM, 1997. Preliminary studies on the sex pheromone biology of yellow totrix (*Acleris fimbriana* Thunberg). *Journal of Shanxi Agricultural University*, 17(4): 27–29. [马瑞燕, 荆英, 贺铁梅, 1997. 黄斑长翅卷叶蛾性信息素生物学研究初报. 山西农业大学学报, 17(4): 27–29.]
- Ma RY, Jing Y, Li Z, Li YQ, Li YQ, Zhang YP, 2000. Study on behaviour and habits of yellow tortrix (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2(1): 20–23. [马瑞燕, 荆英, 李佐, 李永清, 张应平, 2000. 黄斑长翅卷叶蛾行为、习性的研究. 山西农业大学学报, 2(1): 20–23.]
- Ma XY, 2023. Study on the characteristics and precise prevention and control technology of fire blight in Korla pear. Master dissertation. Arla: Tarim University. [马翔宇, 2023. 库尔勒香梨火疫病为害特点及精准防控技术研究. 硕士学位论文. 阿拉尔: 塔里木大学, 2023.]
- Meng LH, Jiang XF, Li P, Xia JX, Zhang TQ, Cheng YX, Zhang L, 2022. Comparison of bisexual life tables of *Spodoptera frugiperda* in different photoperiods. *Plant Protection*, 48(3):

- 63-73. [孟令贺, 江幸福, 李平, 夏吉星, 张同强, 程云霞, 张蕾, 2022. 不同光周期下草地贪夜蛾两性生命表的比较. 植物保护, 48(3): 63-73.]
- Mironidis GK, 2014. Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating temperatures. *Bulletin of Entomological Research*, 104(6): 751-764.
- National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, 2023. China Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press. 38-101. [中华人民共和国国家统计局, 2023. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. 38-101.]
- Pattison RR, Mack RN, 2008. Potential distribution of the invasive tree *Triadica sebifera* (Euphorbiaceae) in the United States: evaluating CLIMEX predictions with field trials. *Global Change Biology*, 14(4): 813-826.
- Shi PJ, Chi BXZ, Ge F, 2011. Development and application of models for describing the effects of temperature on insects' growth and development. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1149-1160. [时培建, 池本孝哉, 戈峰, 2011. 温度与昆虫生长发育关系模型的发展与应用. 应用昆虫学报, 48(5): 1149-1160.]
- Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 2023. Statistical Yearbook of Xinjiang. Urumqi: China Statistics Press. 29-220. [新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴. 乌鲁木齐: 中国统计出版社. 29-220.]
- Tang YZ, Zhu JG, Kuang RP, 1993. On The conception and application of the base tempreature for development. *Chinese Journal of Eeology*, 12(6): 70-72. [唐业忠, 朱建国, 况荣平, 1993. 发育起点温度的概念和应用问题. 生态学杂志, 12(6): 70-72.]
- Wang RS, Lan ZX, Ding YQ, 1982. Study on mathematical model of relationship between insect development rate and temperatures. *Acta Ecologica Sinica*, 2(1): 47-57. [王如松, 兰仲雄, 丁岩钦, 1982. 昆虫发育速率与温度关系的数学模型研究. 生态学报, 2(1): 47-57.]
- Zhang RF, 2011c. Study on biology, ecology and control technology of Apricot main pests in Xinjiang Kuche. Master dissertation. Urumqi: Xinjiang Agricultural University. [张仁福, 2011. 新疆库车县杏树主要害虫生物学、生态学及防治技术研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.]
- Zhang RF, Yu JN, Abudureyimu·Yibulayin, Zhang QY, Sidike·Mijiti, Saimaiti·Yusupu, 2008. The occurrence and control of *Acleris fimbirana* Thunberg in Kuche of Xinjiang. *Northern Fruits*, 2008(6): 1-17. [张仁福, 于江南, 阿不都热依木·依不拉音, 张群雁, 斯迪克·米吉提, 赛买提·玉素甫, 2008. 库车县黄斑长翅卷叶蛾的发生与防治. 北方果树, 2008(6): 16-17.]
- Zhang RF, Wang YD, Wang H, Yu JN, 2011a. The toxicity and effects in field by different pesticides to *Acleris fimbirana* Thunberg. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48(11): 2046-2049. [张仁福, 王登元, 王华, 于江南, 2011. 不同药剂对黄斑长翅卷叶蛾的毒力测定及田间药效试验. 新疆农业科学, 48(11): 2046-2049.]
- Zhang RF, Yu JN, Wang DY, Saimaiti·Yusupu, Sidike·Mijiti, 2011b. Studies on spatial distribution and sampling techninques of *Acleris fimbirana* Thunberg larvae. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48(2): 291-295. [张仁福, 于江南, 王登元, 赛买提·玉素甫, 斯迪克·米吉提, 2011. 黄斑长翅卷叶蛾幼虫空间分布型及抽样技术研究. 新疆农业科学, 48(2): 291-295.]