

考虑灌溉及气候变化条件下葡萄花翅小卷蛾 在中国的潜在地理分布

秦誉嘉¹ 吕文诚² 赵守歧³ 刘 慧³ 李志红^{1*}

(1. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193; 2. 烟台出入境检验检疫局, 烟台 264000;
3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要: 葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) 是我国重要的检疫性害虫, 目前尚未传入我国, 为了解该害虫在中国的潜在地理分布, 根据该物种在全球已知的最新分布情况, 利用 CLIMEX 4.0.2 在考虑灌溉条件的情景下, 预测其在不同气候条件下的潜在地理分布。结果显示, 葡萄花翅小卷蛾在我国的潜在地理分布范围较广, 我国的主要葡萄产区均为葡萄花翅小卷蛾的适生区, 且随着气候变化, 至 2030 年, 葡萄花翅小卷蛾在我国黑龙江、青海、四川省的部分适生区有所增加, 适生程度也有所提高。因此应加强对葡萄花翅小卷蛾的检疫力度, 防止其传入我国, 保护我国葡萄种植业的生产安全。

关键词: 葡萄花翅小卷蛾; CLIMEX; ArcGIS; 潜在地理分布; 灌溉; 气候变化

Prediction of the potential geographical distribution of European grapevine moth *Lobesia botrana* in China considering the irrigation and climate conditions

Qin Yujia¹ Lü Wencheng² Zhao Shouqi³ Liu Hui³ Li Zhihong^{1*}

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Yantai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Yantai 264000, Shandong Province, China;
3. National Agricultural Technology Extension Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract: European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Lepidoptera: Tortricidae) has been listed as the quarantine pest and currently absent in China. To clarify the potential geographical distribution of *L. botrana* in China, according to its latest known distribution occurrence, CLIMEX 4.0.2 was used to predict the potential geographical distribution of this pest under current and future climate conditions considering irrigation scenario. The results showed a wide potential geographical distribution of the pest throughout China, including all the current grape growing areas. With the climate change, in 2030, the potential range of the pest in China would increase in Heilongjiang, Qinghai and Sichuan, with an overall increase in the suitable level. Therefore, quarantine measures should be strengthened in order to prevent its introduction and protect the grape industry in China.

Key words: *Lobesia botrana*; CLIMEX; ArcGIS; potential geographical distribution; irrigation; climate change

葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775) 隶属鳞翅目卷蛾科卷蛾属, 是一种

多食性昆虫,至19世纪入侵葡萄园(Marchal, 1912),葡萄成为其主要寄主。该虫起源于古北区,随人为传带进入非洲中部的埃塞俄比亚、厄立特里亚、肯尼亚等国家,现主要分布在欧洲、中亚以及非洲的北部和中部地区,值得关注的是国际农业和生物科学中心(Centre Agriculture Bioscience International, CABI)编辑出版的作物保护大全检索系统(Crop Protection Compendium, CPC)曾错误报导其在本日本有分布(CABI, 2017)。葡萄花翅小卷蛾是多样化物种,在指定地区的世代数由光周期以及温度共同作用,并诱导滞育,决定发育速率。在罗马尼亚该虫1年完成1个世代(Filip, 1986),而在西班牙、希腊、意大利、突尼斯以及前南斯拉夫1年可完成4代(Coscollá, 1997),在土库曼斯坦则1年可完成5个世代(Rodionov, 1945)。该虫对于葡萄的间接为害比直接为害更严重,幼虫在葡萄中孵化可以引起一系列真菌感染,特别是由葡萄孢菌 *Botrytis cinerea* 引起的灰霉病严重时会导致葡萄品质下降(Mondy et al., 1998)。葡萄花翅小卷蛾可能以幼虫、蛹随感染的繁殖材料传入,特别是进口葡萄(吕文诚, 2012),因此尚未发现该虫入侵的国家应对其采取严格的检疫措施。该物种当前尚未在我国分布,并被列为我国进境检疫性有害生物。因此,明确该物种在我国的潜在地理分布对科学制定检疫措施以防御其入侵具有重要意义。

潜在地理分布(国内也称适生区)的预测是有害生物风险分析(pest risk analysis, PRA)的重要组成部分,通过有害生物的分布信息、生物学信息以及气候地理数据等来预测目标有害生物在所研究地区的适生范围以及适生程度(李志红, 2015)。在有害生物潜在地理分布的大量研究中,物种分布模型占据着主导地位,CLIMEX地点比较模型可根据物种已知分布区的气候条件来计算物种在一定区域内各地点的生态气候指数(ecoclimatic index, EI),从而预测物种的适生区和种群的相对丰度(宋红敏等, 2004),近年来该模型被广泛应用于有害生物的潜在地理分布预测,如马缨丹 *Lantana camara* (Taylor et al., 2012)、西印度按实蝇 *Anastrepha obliqua* (Fu et al., 2014)、玉米锈病病原菌高粱柄锈菌 *Puccinia sorghi* 和多堆柄锈菌 *P. polysora* (Ramirez-Cabral et al., 2017)以及甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Yonow et al., 2018)等。目前该软件已于2015年开发至4.0.2版本,大幅度提高了运行速度,优化了参数半

自动拟合功能,新增了地点/年代比较模型、季节及年际间的动态视频录制模块、参数灵敏性以及模型不确定性自动分析功能、批量运行功能等(Kriticos et al., 2015)。

研究表明,CLIMEX地点比较模型为预测葡萄花翅小卷蛾在我国潜在地理分布的最佳模型,适生面积达49.7%(Lü et al., 2011; 吕文诚, 2012)。基于此,本研究根据葡萄花翅小卷蛾最新的已知地理分布及相关生物学特性,运用CLIMEX 4.0.2和地理信息系统ArcGIS 10.2相结合的方法,对该虫在我国目前及未来的潜在地理分布进行预测,以期为进一步科学制定葡萄花翅小卷蛾的检疫措施以防御其入侵提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

地理分布数据:葡萄花翅小卷蛾的地理分布数据主要来自国内外公开发表文献、CABI的CPC (<https://www.cabi.org/cpc>)以及全球生物多样性信息网络(global biodiversity information facility, GBIF) (<https://www.gbif.org/>)数据库,具体分布点如图1所示,其中CABI的分布点只定位到国家或地区。

气候数据:气候数据来源于ClimMond (<https://www.climond.org>) 30'精度的数据集,包括1961—1990年间的当前气候以及2030年来自澳大利亚联邦科学与工业研究组织的CSIRO-MK 3.0模型下根据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第4次报告A2排放情景下的未来气候数据集(Kriticos et al., 2012), A2情景描述了一个人口快速增长、经济发展缓慢、技术进步缓慢的很不均衡的世界(IPCC, 2007)。

地图数据:来源于Diva-GIS (<http://www.diva-gis.org/>)的世界地图和国家基础地理信息中心网站(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)的中国国界及省界图(比例尺为1:4 000 000)。农业用地类型图由中国农业科学院植物保护研究所提供,已除去水体、林地和城市用地。

灌溉情景:根据生产中的实际需求,在地点比较模型中设置了全年2.5 mm/d的灌溉量(Portmann et al., 2010; Yonow et al., 2018)

1.2 方法

收集本研究所需要的葡萄花翅小卷蛾的地理分布、生物学等信息,在CLIMEX 4.0.2的地点比较模

型中参照吕文诚(2012)设定该虫的温度、湿度以及胁迫的初始参数。运行地点比较模型后根据当前葡萄花翅小卷蛾在全球公布的最新分布情况进行参数修正调试,反复调试相关参数使预测结果与现有的地理分布资料达到最大程度的吻合,确定模型的当前的17个参数值,考虑在欧洲北界新增的分布记录包括乌克兰、波兰、白俄罗斯、立陶宛以及英国南部等,对冷胁迫积累速率(cold stress accumulation rate, THCS)进行调整;根据文献报道葡萄花翅小卷蛾在罗马尼亚1年完成1个世代,在土库曼斯坦1年完成5个世代,对有效积温(degree-days to complete one generation, PDD)以及热胁迫积累速率(heat stress accumulation rate, THHS)进行调整。另外,基

于该物种在北非(摩洛哥、阿尔及利亚、利比亚、埃及)的分布情况,设置了灌溉情景。

根据确定好的参数来预测葡萄花翅小卷蛾在当前以及2030年A2排放情景下的未来气候条件下的适生范围以及适生程度,预测结果以EI值来表示,其中EI=0为非适生区,表示葡萄花翅小卷蛾在该地区不适生; $0 < EI \leq 10$ 为低度适生区,表示葡萄花翅小卷蛾在该地区可定殖,但属于限制性分布; $10 < EI \leq 20$ 为中度适生区,表示葡萄花翅小卷蛾在该地区较易定殖; $EI > 20$ 为高度适生区,表示葡萄花翅小卷蛾在该地区极易定殖。利用ArcGIS软件空间分析的反距离权重(inverse distance weight, IDW)插值算法,将CLIMEX地点比较模型预测结果由点图转化为面图。

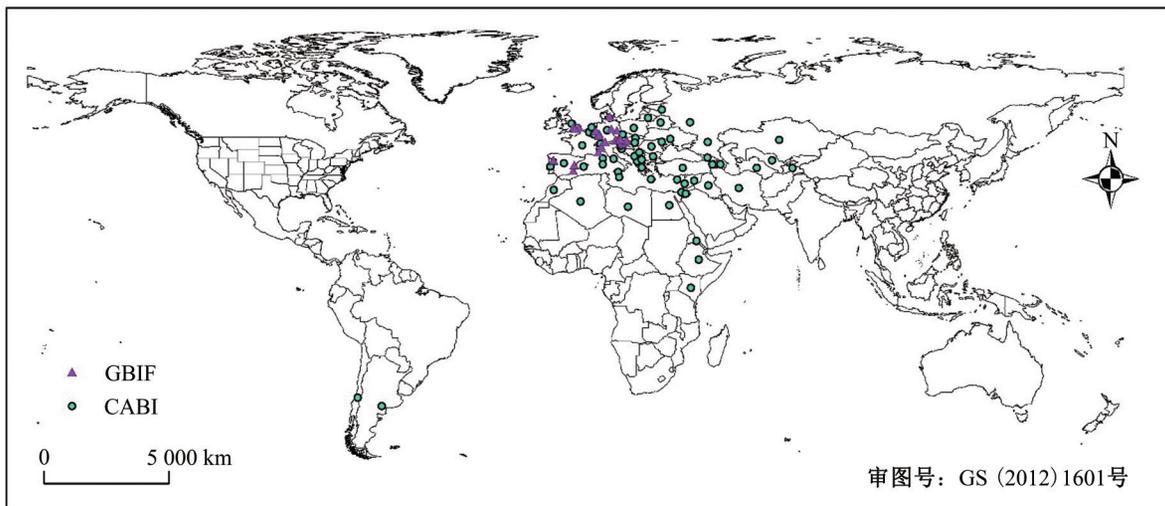


图1 葡萄花翅小卷蛾当前在世界的已知分布点

Fig. 1 The known occurrence of *Lobesia botrana* in the world

GBIF: 全球生物多样性信息网络; CABI: 国际农业和生物科学中心。GBIF: Global biodiversity information facility; CABI: Centre Agriculture Bioscience International.

2 结果与分析

2.1 地点比较模型参数

根据当前葡萄花翅小卷蛾在全球公布的最新分布情况进行参数修正调试,确定17个模型参数,其中地点比较模型的冷胁迫积累速率为 $-0.00015/\text{week}$,热胁迫积累速率为 $0.008/\text{week}$,有效积温为 $525^\circ\text{C}\cdot\text{d}$,另外设置了 2.5 mm/d 的灌溉情景(表1)。

根据潜在地理分布结果可知,本研究预测的葡萄花翅小卷蛾的潜在地理分布覆盖了当前已知的所有分布区,且CLIMEX预测的世代数结果显示,在西班牙、希腊、意大利、突尼斯以及前南斯拉夫1年可完成4代,在土库曼斯坦1年可完成5个世代,进

一步验证了本模型的参数值(图2)。

2.2 当前气候条件下的预测结果

在当前气候条件下,葡萄花翅小卷蛾在世界的潜在地理分布包括北美洲的美国、中美洲、南美洲、非洲的北部、中部以及南部、欧洲、亚洲的中南部大部分地区和大洋洲(图2)。该物种在我国的高度适生区主要包括河北、山东、河南、安徽、江苏、云南、广西、广东、福建、海南、台湾等省(区)大部分地区,湖北省、四川省、重庆市部分地区;中度适生区主要包括宁夏、陕西、山西、重庆、贵州、湖南、江西、安徽等省(区)大部分地区,新疆、内蒙古、四川、广西、广东、福建、台湾等省(区)部分地区;低度适生区主要包括新疆、甘肃、内

蒙古、辽宁、吉林等省(区)大部分地区,青海、黑龙江、四川、云南、西藏等省(区)部分地区(图3)。

2.3 未来气候条件下的预测结果

到2030年在A2排放情景下,葡萄花翅小卷蛾在中国的部分适生区将有所增加,主要包括黑龙江省的北部地区、青海省的东北部地区、四川省的西部

地区。适生程度总体将有所提高,如新疆北部、甘肃、内蒙古、河北、辽宁等省(区)部分地区由低度适生区变为中度适生区,陕西、山西、北京、河北、山东、四川、贵州等省(市)部分地区由中度适生区变为高度适生区,而湖北省、安徽省的中部适生区由高度适生区变为中度适生区(图4)。

表1 葡萄花翅小卷蛾的CLIMEX地点比较模型参数

Table 1 Compare locations model parameter values of CLIMEX for *Lobesia botrana*

参数 Parameter	吕文诚(2012)参数值 Lü (2012) parameter values	当前参数值 Current parameter values
土壤湿度临界下限 Lower threshold of soil moisture (SM0)	0.1	0.1
最适土壤湿度下限 Lower limit of optimum soil moisture (SM1)	0.3	0.3
最适土壤湿度上限 Upper limit of optimum soil moisture (SM2)	1.0	1.0
土壤湿度临界上限 Upper threshold of soil moisture (SM3)	1.8	1.8
发育起点温度 Lower threshold temperature (DV0)	11.5°C	11.5°C
最适发育温度下限 Lower optimum temperature (DV1)	20°C	20°C
最适发育温度上限 Upper optimum temperature (DV2)	31°C	31°C
发育上限温度 Upper threshold temperature (DV3)	34°C	34°C
冷胁迫日度临界 Cold stress temperature threshold (TTCS)	2°C	2°C
冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate (THCS)	-0.0003/week	-0.00015/week
热胁迫临界温度 Heat stress temperature threshold (TTHS)	36°C	36°C
热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate (THHS)	0.8/week	0.008/week
干旱胁迫临界 Dry stress soil moisture threshold (SMDS)	0.1	0.1
干旱胁迫速率 Dry stress accumulation rate (HDS)	-0.04/week	-0.04/week
湿胁迫临界 Wet stress soil moisture threshold (SMWS)	1.5	1.8
湿胁迫速率 Wet stress accumulation rate (HWS)	0.01	0.01
有效积温 Degree-days to complete one generation (PDD)	790°C·d	525°C·d
灌溉情景 Irrigation		2.5 mm/d

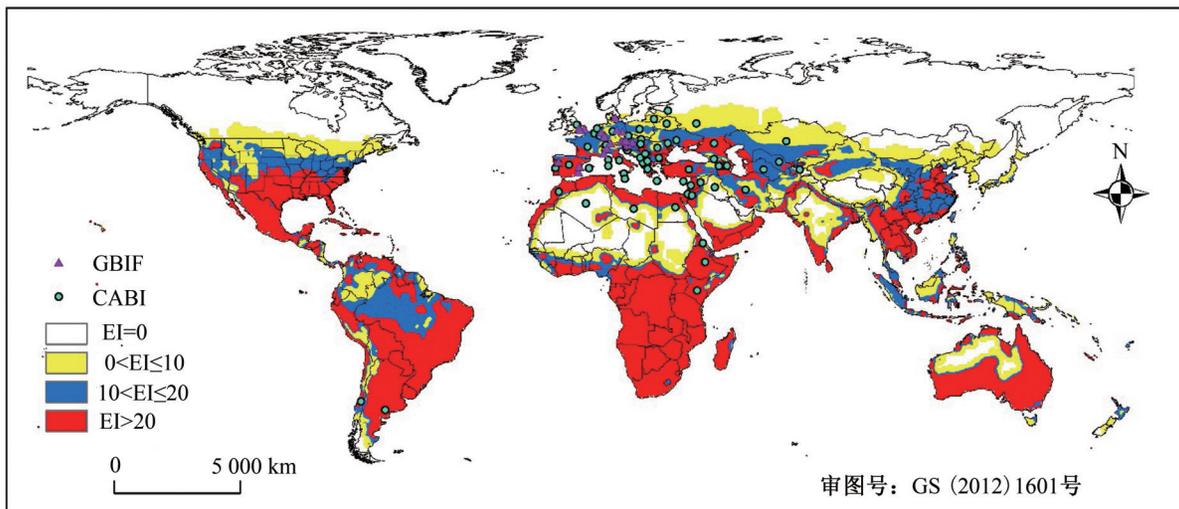


图2 当前气候条件下葡萄花翅小卷蛾在世界的潜在地理分布

Fig. 2 Potential geographical distribution of *Lobesia botrana* in the world under current climate conditions

GBIF: 全球生物多样性信息网络; CABI: 国际农业和生物科学中心; EI: 生态气候指数。 GBIF: Global biodiversity information facility; CABI: Centre Agriculture Bioscience International; EI: ecoclimatic index.

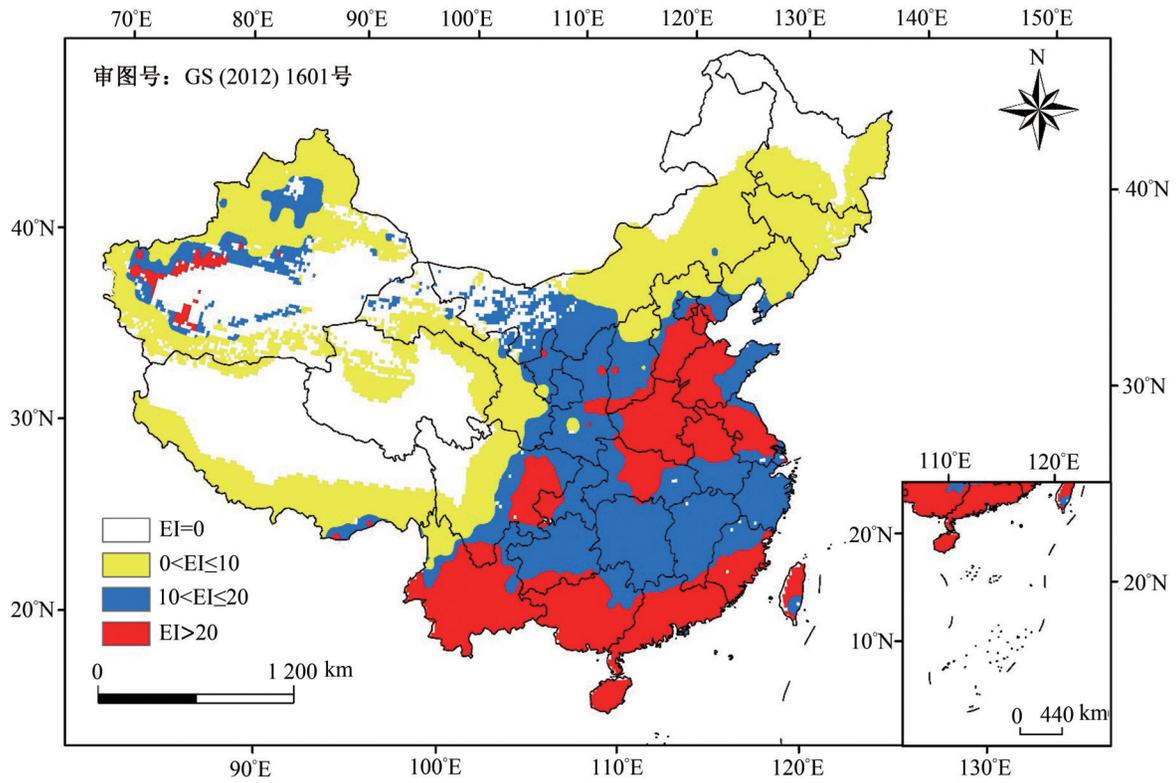


图3 当前气候条件下葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布

Fig. 3 Potential geographical distribution of *Lobesia botrana* in China under current climate conditions
EI: 生态气候指数。EI: Ecoclimatic index.

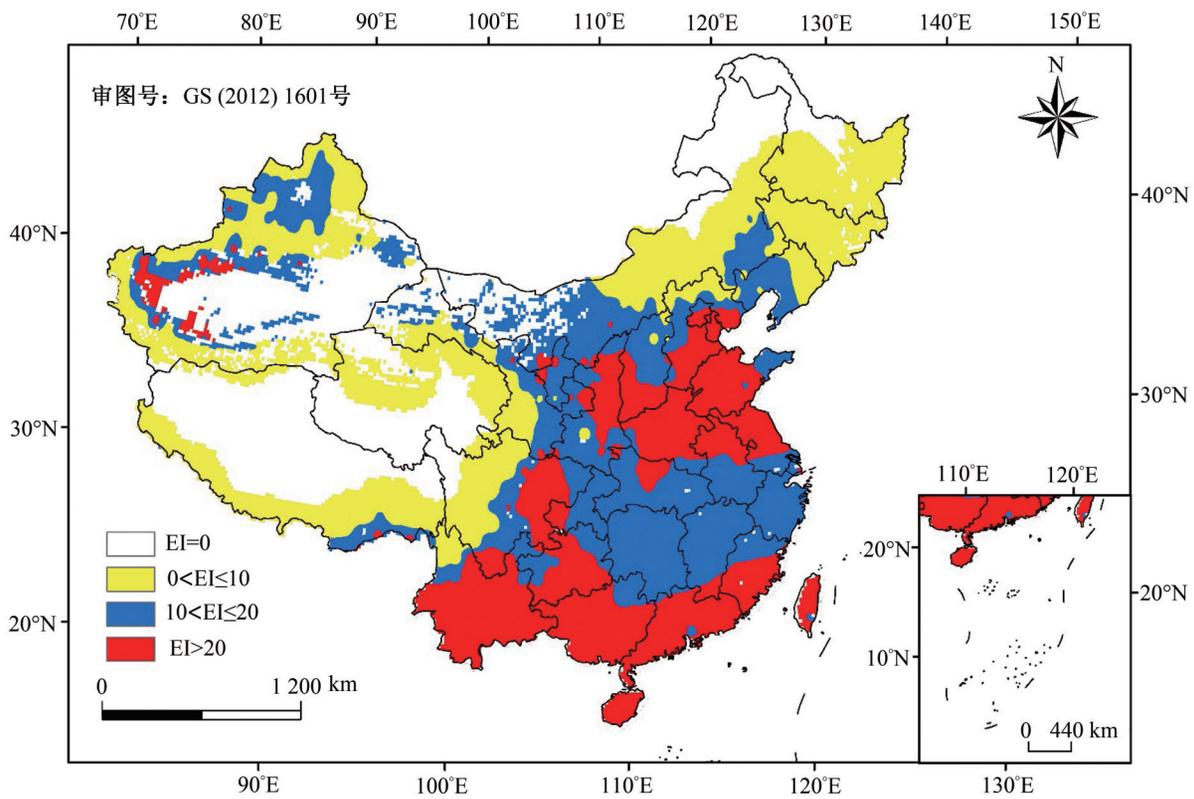


图4 2030年A2情景下葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布

Fig. 4 Potential geographical distribution of *Lobesia botrana* in China in 2030 under A2 scenario
EI: 生态气候指数。EI: Ecoclimatic index.

3 讨论

基于前人研究,本试验利用CLIMEX最新版本4.0.2对葡萄花翅小卷蛾在当前以及未来气候条件下的潜在地理分布进行预测,本研究获得的葡萄花翅小卷蛾的已知地理分布点与吕文诚(2012)研究结果相比,新增了北非、中非、欧洲北部国家的分布点,而吕文诚(2012)研究中日本的分布点被证实是错误记录,美国加州的分布点为已根除的分布点(CABI, 2017),因此所预测的潜在地理分布范围也有所不同。比较前后研究结果显示,该害虫在我国的适生区有所增加,涉及东北地区、内蒙古、甘肃、青海、新疆等省(区),且随着气候变化,这些地区的适生程度也会增加,因此以上地区应加强对该害虫的检疫防控措施。

葡萄花翅小卷蛾被认为是全世界所有未受影响的葡萄种植区的重要潜在经济害虫。我国是世界葡萄的主产国之一,鲜食葡萄产量占世界葡萄总量的34.7%,新疆、河北、陕西、辽宁、江苏、云南、河南、广西、四川、湖南等省(区)均达到一定的葡萄种植规模,吐鲁番葡萄的种植总面积占新疆种植总面积的34%(李俊峰等,2017)。本研究结果表明,以上的葡萄产区均为葡萄花翅小卷蛾的适生区,且除葡萄之外,甜樱桃、猕猴桃、石榴等也是该害虫的寄主,李俊峰等(2017)通过多项指标综合评判的有害生物危险性研究表明其风险值为2.14,属于高度危险性有害生物,因此应严防该检疫性害虫传入我国,密切关注该虫在疫区的发生情况,在新疆等口岸地区做好监测工作,保护我国葡萄种植业的安全生产。

物种分布模型是利用物种的已知分布数据和气候数据并根据一定算法进行运算构建模型,判断物种的生态需求,将其运算结果投射至不同空间和时间中预测物种的潜在分布(朱耿平等,2012),因此物种的已知分布数据对潜在地理分布预测至关重要。近年来国内外学者对大量物种开展了潜在地理分布研究,然而由于地理分布信息和生物学信息不完善、同物异名等现象以及气候数据更新不及时等限制因素,部分物种的潜在地理分布预测存在一些局限性,如Stephens et al. (2007)利用CLIMEX对橘小实蝇*Bactrocera dorsalis*在全球的潜在地理分布进行了预测,然而在2014年,木瓜实蝇*B. papaya*、入侵果实蝇*B. invadens*、菲律宾实蝇*B. philippinensis*被证明为橘小实蝇的同物异名(FAO, 2014),该物种的分布范围也随之增加,整个非洲大陆均成为其分布区,

所以de Villiers et al. (2016)在“四合一”的新背景下重新利用CLIMEX研究了该物种的潜在地理分布。综上,建议应定期针对有害生物潜在地理分布研究进行回顾性审查,必要时针对相关物种开展新一轮的研究,以便为该有害生物的入侵防控提供新的科学依据。

参 考 文 献 (References)

- CABI. 2017. Crop Protection Compendium, CAB International Wallingford, UK
- Coscollá R. 1997. La polilla del racimo de la vid (*Lobesia botrana* Den. y Schiff.). Valencia, Spain: Generalitat Valenciana, Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación
- de Villiers M, Hattingh V, Kriticos DJ, Brunel S, Vayssières JF, Sinzogan A, Billah MK, Mohamed SA, Mwatawala M, Abdelgader H, et al. 2016. The potential distribution of *Bactrocera dorsalis*: considering phenology and irrigation patterns. Bulletin of Entomological Research, 106(1): 19–33
- FAO. 2014. Four in one – new discovery on pest fruit flies. [http://www.fao.org/news/story/en/item/262972/icode/\(2014-10-28\)](http://www.fao.org/news/story/en/item/262972/icode/(2014-10-28))
- Filip I. 1986. Breeding zones of the grape moth (*Lobesia botrana* Den & Schiff) in Romania. Probleme de Protectia Plantelor, 14(1): 25–30
- Fu L, Li ZH, Huang GS, Wu XX, Ni WL, Qü WW. 2014. The current and future potential geographic range of west Indian fruit fly, *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). Insect Science, 21(2): 234–244
- IPCC. 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Kriticos DJ, Maywald GF, Yonow T, Zurcher EJ, Herrmann NI, Sutherst RW. 2015. CLIMEX version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases. CSIRO, Canberra
- Kriticos DJ, Webber BL, Leriche A, Ota N, Macadam I, Bathols J, Scott JK. 2012. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. Methods in Ecology and Evolution, 3: 53–64
- Li JF, Adil S, Yu F, Mahmut N. 2017. Pest risk analysis of European grapevine moth *Lobesia botrana* in China. Journal of Biosafety, 26(1): 52–57 (in Chinese) [李俊峰, 阿地力·沙塔尔, 喻峰, 买合木提·尼亚孜. 2017. 世界性害虫葡萄花翅小卷蛾入侵我国的风险分析. 生物安全学报, 26(1): 52–57]
- Li ZH. 2015. Prevention and control of biological invasions: potential geographical distribution of economic important fruit flies. Beijing: China Agricultural University Press, pp. 3–7 (in Chinese) [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, pp. 3–7]
- Lü WC. 2012. The potential geographical distribution of *Lobesia botra-*

- na (Denis & Schiffermuller) in China. Master Thesis. Beijing: China Agricultural University (in Chinese) [吕文诚. 2012. 葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Lü WC, Li ZH, Wu XX. 2011. Maximum entropy niche-based modeling (MaxEnt) of potential geographical distributions of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) in China.//International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 239–246
- Marchal P. 1912. Rapport sur les travaux accomplis par la mission d'études de la Cochylys et de l'Eudémis. Paris, France: Librairie Polytechnique, Paris et Liège
- Mondy N, Charrier B, Fermaud M, Pracros P, Corio-Costet MF. 1998. Mutualism between a phytopathogenic fungus (*Botrytis cinerea*) and a vineyard pest (*Lobesia botrana*). Positive effects on insect development and oviposition behavior. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 321(8): 665–671
- Portmann FT, Siebert S, Döll P. 2010. MIRCA2000—global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 24: 24
- Ramirez-Cabral NYZ, Kumar L, Shabani F. 2017. Global risk levels for corn rusts (*Puccinia sorghi* and *Puccinia polysora*) under climate change projections. *Journal of Phytopathology*, 165(9): 563–574
- Rodionov ZS. 1945. Pest of vines in the Turkmen SSR. CAB Direct
- Song HM, Zhang QF, Han XM, Xu Y, Xu RM. 2004. CLIMEX: professional biological software for predicting potential distribution of species. *Entomology Knowledge*, 41(4): 379–386 (in Chinese) [宋红敏, 张清芬, 韩雪梅, 徐岩, 徐汝梅. 2004. CLIMEX: 预测物种分布区的软件. *昆虫知识*, 41(4): 379–386]
- Stephens AEA, Kriticos DJ, Leriche A. 2007. The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocerca dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 97(4): 369–378
- Taylor S, Kumar L, Reid N, Kriticos DJ. 2012. Climate change and the potential distribution of an invasive shrub, *Lantana camara* L. *PLoS ONE*, 7(4): e35565
- Yonow T, Kriticos DJ, Kirichenko N, Ota N. 2018. Considering biology when inferring range-limiting stress mechanisms for agricultural pests: a case study of the beet armyworm. *Journal of Pest Science*, 91(2): 523–538
- Zhu GP, Wang XJ, Liu GQ, Bu WJ. 2012. Potential distribution of sycamore lace bug, *Corythucha ciliate* in China (Hemiptera: Tingidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1652–1658 (in Chinese) [朱耿平, 王晓静, 刘国卿, 卜文俊. 2012. 悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析. *应用昆虫学报*, 49(6): 1652–1658]

(责任编辑:王璇)