

# 基于 CLIMEX 的 2 种核桃蚜虫 潜在适生区分析

王 婷<sup>1,2</sup>, 马德英<sup>1\*</sup>, 刘孝贤<sup>2</sup>, 张 苹<sup>2</sup>, 高桂珍<sup>3</sup>, 吕昭智<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>中国科学院新疆生态与地理研究所,

新疆 乌鲁木齐 830011; <sup>3</sup>新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

<sup>4</sup>青岛农业大学植物医学学院, 山东 青岛 266109

**摘要:**【目的】分析核桃黑斑蚜与核桃全斑蚜在全球范围内的潜在分布, 比较气候变化对其分布的影响, 为核桃有害生物综合管理策略的制定提供依据。【方法】基于实验室和野外试验, 结合 CLIMEX 软件对核桃黑斑蚜与核桃全斑蚜在目前及未来气候条件下的潜在地理分布进行了模拟和系统评估。【结果】2 种核桃蚜虫适生区十分相似, 在世界范围内主要分布区集中在欧洲、北美洲、亚洲等区域, 核桃黑斑蚜适生区范围大于核桃全斑蚜, 但在我国, 核桃黑斑蚜适生区范围小于核桃全斑蚜。气候变化将决定 2 种蚜虫分布的差异性, 未来气候情景下, 2 种蚜虫适生区将发生变化, 在欧洲、北美洲和亚洲适生区范围向高纬度延伸; 在我国适生区范围逐渐减小。【结论】在世界范围内, 核桃黑斑蚜与核桃全斑蚜适生区域主要分布在 25°N-75°N 内的亚洲、欧洲、北美洲的部分地区; 在我国, 其适生区域主要分布在东部季风区内的东北的南部、西北东南部、西南中部、华中北部以及华北地区。

**关键词:** 核桃黑斑蚜; 核桃全斑蚜; 适生区; CLIMEX



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Analysis of potential suitable areas of two walnut aphids based on CLIMEX

WANG Ting<sup>1,2</sup>, MA Deying<sup>1\*</sup>, LIU Xiaoxian<sup>2</sup>, ZHANG Ping<sup>2</sup>, GAO Guizhen<sup>3</sup>, LÜ Zhaozhi<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup>College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

<sup>2</sup>Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

<sup>3</sup>College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

<sup>4</sup>College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China

**Abstract:**【Aim】The study analyzed the potential distribution of *Chromaphis juglandicola* and *Panaphis juglandis* worldwide, compared the impact of climate change on their distribution, and provided a basis for design integrated management strategies of walnut pests.【Method】CLIMEX software was used to simulate and evaluate the potential global distribution of *C. juglandicola* and *P. juglandis* under current and future climatic conditions, by analyzing laboratory and field experimental data.【Result】The results showed that the suitable areas were similar for both two walnut-feeding aphids. The main suitable distribution areas lie in Europe, North America and Asia for both species. The suitable area of *C. juglandicola* was larger than *P. juglandis* area around the world. However, in China, the suitable area of *C. juglandicola* is smaller than that of *P. juglandis*. The suitable area of two walnut aphids shift under the future climate change scenarios. The suitable areas in Europe, North America and Asia could expand eastward, while the suitable areas in China would gradually decrease.【Conclusion】The suitable areas of *C. juglandicola* and *P. juglandis* are mainly concentrated in parts of Asia, Europe, and North America within 25°N to 75°N. While in China, the suitable areas are mainly distributed in the eastern monsoon region.

**Key words:** *Chromaphis juglandicola*; *Panaphis juglandis*; suitable area; CLIMEX

收稿日期(Received): 2019-11-15 接受日期(Accepted): 2020-03-09

基金项目: 塔吉克斯坦重要农林入侵物种系统调查及控制技术(2017E01019); 国家自然科学基金(31670656)

作者简介: 王婷, 女, 硕士研究生。研究方向: 农业昆虫及害虫防治。E-mail: 449034922@qq.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 马德英, E-mail: mdyxnd@163.com; 吕昭智, E-mail: zhaozhi\_lv@sina.com

生物入侵是全球生物多样性丧失的主要原因之一,对各国生态系统、环境和社会经济构成的威胁日益严峻(蒋小龙等,2018)。外来入侵生物一旦成功建立种群后,根除难度非常大;预判和预测未来有害生物的入侵及其过程,对采取有效的防控措施,防止其进一步传入和扩散,避免造成更大的经济损失具有重要的参考价值。目前,生态位模型已成功应用到多个物种的管理和风险评估上,对入侵物种的管理和指导具有重要的参考价值(王聪等,2018)。

核桃 *Juglans regia* L. 起源于中亚,世界各地都有大面积的种植(Martínez *et al.*, 2010)。据统计,2017年,全球核桃种植面积 109.77 万  $\text{hm}^2$ ,我国核桃种植面积占 44.63%。核桃蚜虫包括核桃全斑蚜 *Panaphis juglandis* Goeze 与核桃黑斑蚜 *Chromaphis juglandicola* Kaltentbach, 2 种蚜虫为单食性,是危害核桃的主要刺吸式害虫。核桃黑斑蚜在大部分核桃产区已有分布,2018年核桃全斑蚜在我国新疆伊犁和贵州陆续被发现,是我国新入侵的有害生物,具有潜在的危险性和扩散能力(吴跃开等,2018; 邢海超等,2018)。

寄主核桃在世界范围内大面积分布,包括北美洲、欧洲大部分国家以及亚洲部分国家和地区,预测核桃蚜虫在全球范围内的潜在分布,对未来核桃有害生物的防治有重要价值。已有大量证据表明,气候在迅速的变化,政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告(IPCC, 2007)指出,1990—2100年之间,全球平均地表温度预计会升高 2.4~6.4  $^{\circ}\text{C}$ 。本研究基于 2 种核桃蚜虫已有的研究数据,包括生活史、生物学特征和已知分布,选用以气候条件决定生物种群地理分布和数量变化的 CLIMEX 模型模拟 2 种核桃蚜虫在不同气候条件下的潜在分布,比较气候变化对 2 种核桃蚜虫分布的影响,以期对核桃种植和管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 CLIMEX 模型

CLIMEX 是 Sutherst 和 Maywald 在 1985 年建立,通过物种在已知地理分布区域的气候参数来预测物种的潜在地理分布和相对丰度,并能分析气候对物种生长发育影响,能够比较全面地评估生物在新栖息地适生能力的一个动态模拟模型(宋红敏等,2004)。在 CLIMEX 模型中,有 2 个基本假设:

- (1) 气候是影响物种分布和相对丰度的主要因素;
- (2) 该物种在 1 年内经历适宜种群增长时期和不适合甚至危及生存这 2 个时期(贾文明等,2005)。

CLIMEX 预测的物种分布由多个生物学参数非线性联合作用。通过调节参数可生成生态气候参数(ecoclimatic index, EI),由胁迫指数(stress index, SI)、生长指数(growth index, GI)和滞育、有效积温综合计算生成,表示物种的适生程度。区域 EI 值越大,表示物种在该地区越适合生存;胁迫指数(冷胁迫、热胁迫、干胁迫、湿胁迫)以及相互关系描述了物种在不良气候条件下的生存能力,该指数主要是限制种群的分布界限;GI 类似于种群内禀增长率,表明了物种在理想条件下的增长速度和物候特点,GI 值越大,表示物种在此条件下增殖潜力越快(Kriticos *et al.*, 2014)。目前,CLIMEX 模型已被用于估计当前和未来气候下多种入侵物种的潜在分布和种群模拟(孔令斌等,2008; Chejara *et al.*, 2010; Poutsma *et al.*, 2008; Sutherst & Bourne, 2009)。

### 1.2 基础数据

1.2.1 寄主分布 核桃分布在欧洲、美洲和亚洲。在世界的 50 多个国家都有种植,主要种植国家有中国、美国、伊朗、土耳其、乌克兰、墨西哥、印度、巴基斯坦、智利、法国、罗马尼亚、希腊、埃及等(张毅萍,2001; Martínez *et al.*, 2010)。我国主要核桃产区包括新疆、青海、甘肃、宁夏、陕西、山西、天津、辽宁、山东、湖南、贵州、四川、广西等地(张毅萍,2001; Feng *et al.*, 2018)。

1.2.2 核桃蚜虫的生物学参数 基于本课题组前期对蚜虫生命表的研究,得到参数 DV0、DV1、DV2、DV3、SM0、SM1、SM2、SM3,其他参数指标参考相关文献进行拟合确定(马菲等,2014; Avila *et al.*, 2019)。经过反复模拟和调试,模拟的分布覆盖了已有的蚜虫记录点,最终确定了 CLIMEX 模型的 22 个相关参数(表 1)。

1.2.3 2 种核桃蚜虫已知地理分布 核桃黑斑蚜原产于中东和中亚(Lee *et al.*, 2018),国外分布于中亚、中东、非洲、丹麦、瑞典、西班牙、英国、德国、波兰与北美等地区(Aqaverdi & Inqilab, 2018; Heie, 1982; Lee *et al.*, 2018)。我国 1986 年在辽宁、山西、北京相继发现(杨俊杰和郭德明,1998)。

核桃全斑蚜原产于伊朗(Coeur *et al.*, 2010),广泛分布在欧洲的西班牙、意大利、希腊、丹麦和瑞典

等地 (Aqaverdi & Inqilab, 2018)。1928 年首次出现在美国俄勒冈州威拉米特河谷; 1952 年又在加利福尼亚州圣西荷附近的核桃树上发现, 次年, 核桃全斑蚜蔓延到旧金山湾地区的大部分核桃产区以及美国的拜伦 (Olson, 1974; Paulsen *et al.*, 2013); 随后在欧洲、亚洲很多国家陆续被报道 (吴跃开等, 2018; 邢海超等, 2018; Heie, 1982; Lee *et al.*, 2018)

1.2.4 气候数据 选取的气候模型以 1975 年为中心的 30 年的气候数据, 空间分辨率为 10', 包括未来 2030、2080 年的气候情景, 月平均降水量、日最高气温、日最低气温、9:00 和 15:00 的空气相对湿度 (Kriticos *et al.*, 2014)。温室气体排放场景具体参考 IPCC (2007) 第四次评估报告中基于各种能源供应和利用技术发展速度相当的假定条件下, 不过分依赖于某一特定能源资源的利用情景。

### 1.3 研究方法

运用 CLIMEX 的 "Compare locations" 功能, 分别得到核桃全斑蚜和核桃黑斑蚜现在与未来全球范围内潜在分布地区的 EI 值, 将 EI 值划分为 3 个等级:  $1 \leq EI < 5$  为低度适生区;  $5 \leq EI < 15$  为中度适生;  $EI \geq 15$  为高度适生区。EI 值越大则表示该地区气候环境越适合核桃蚜虫生存。利用美国环境系统研究公司 (Environmental Systems Research Institute, ESRI) 开发的 ArcGIS 10.2 软件的反距离加权插值分析功能得到全球核桃种植区分布及核桃蚜虫的潜在气候适生区。在模拟的基础上, 与核桃树的分布、核桃蚜虫的已知分布进行验证, 并与核桃蚜虫的实际种群动态进行对比, 评估和提高计算模型的准确性, 最终计算和模拟出 2 种核桃蚜虫适生区的差异性及其未来气候条件下适生区的变化。

表 1 核桃黑斑蚜与核桃全斑蚜 CLIMEX 参数值  
Table 1 CLIMEX parameter values of *C. juglandicola* and *P. juglandis*

CLIMEX 参数描述 Parameters	核桃黑斑蚜参数值 Values for <i>C. juglandicola</i>	核桃全斑蚜参数值 Values for <i>P. juglandis</i>
发育起点温度 Lower temperature threshold/°C (DV0)	8	7
适宜温度下限 Lower optimum temperature/°C (DV1)	20	18
适宜温度上限 Upper optimum temperature/°C (DV2)	35	29
发育最高温度 Upper temperature threshold/°C (DV3)	40	35
有效积温 Degree-days necessary to complete one generation/°C (PDD)	450	450
发育需要的最低土壤湿度 Lower soil moisture threshold (SM0)	0.2	0.1
适宜发育需要的土壤湿度下限 Lower optimum soil moisture (SM1)	0.3	0.2
适宜发育需要的土壤湿度上限 Upper optimum soil moisture (SM2)	1	1.5
发育需要的土壤最高湿度 Upper soil moisture threshold (SM3)	2	2.5
冷胁迫开始积累的阈值 Cold stress temperature threshold (TTCS)	-11	-10
冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate (THCS)	-0.0001	-0.0001
热胁迫开始积累的阈值 Heat stress temperature threshold (TTHS)	40	35
热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate (THHS)	0.05	0.005
干胁迫开始积累的阈值 Dry stress soil moisture threshold (SMDS)	0.15	0.2
干胁迫积累速率 Dry stress accumulation rate (HDS)	-0.05	-0.06
湿胁迫开始积累的阈值 Wet stress soil moisture threshold (SMWS)	1.3	1.5
湿胁迫积累速率 Wet stress accumulation rate (HWS)	0.001	0.001
滞育诱导日长 Diapause induction day length (DPD0)	13	13
滞育诱导温度 Diapause induction temperature/°C (DPT0)	2	2
滞育终止温度 Diapause termination temperature/°C (DPT1)	4	4
滞育发展天数 Diapause development days/d (DPD)	60	60
夏季或冬季滞育指标 Diapause summer or winter indicator (DPSW)	0	0

## 2 结果与分析

### 2.1 目前气候条件下 2 种核桃蚜虫的气候适生区

研究表明, 世界范围内 2 种核桃蚜虫适生区主要分布在温带及亚热带北部地区。国外的适生区分布在欧洲大部分地区, 中亚、西亚、东亚的季风气候区, 北美洲东部沿海地区和中部大平原地区, 南

美洲南部的少数地区。在我国主要集中分布在东北、华北和华中地区, 另外在我国的西北地区和西南山区有零星分布。从 CLIMEX 模型模拟计算出的适生区来看, 2 种核桃蚜虫潜在分布区与世界核桃主要产区是相重叠的 (图 1)。

在我国, 核桃黑斑蚜低度适生区在内蒙古东部及中部地区、黑龙江北部、河北北部、山西北部、陕

西北部、甘肃南部部分区域、四川部分区域、新疆北部边疆地区；中度适生区在黑龙江、吉林中东部地区、辽宁西部、山西中部、陕西中部、宁夏南部、甘肃南部；高度适生区在辽宁中部及辽东半岛地区、山东的黄河以南地区、山西南部、陕西南部、甘肃陇东地区、江苏长江以北地区、湖北北部、重庆和四川的大巴山区、云南云贵高原北部地区。

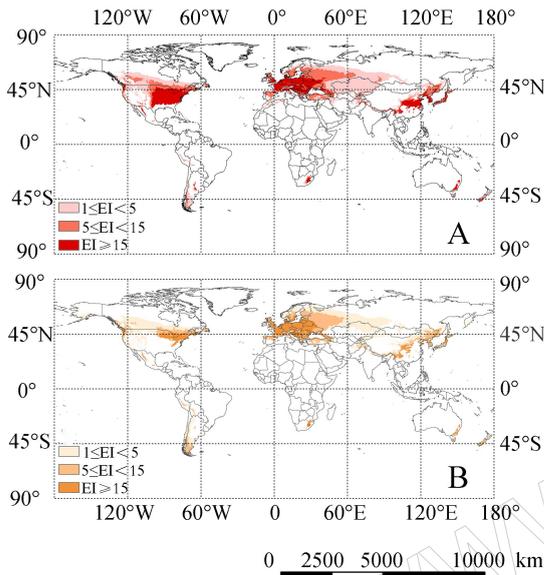


图 1 目前核桃黑斑蚜 (A)、核桃全斑蚜 (B) 的潜在适生区  
Fig.1 The current potential distribution of *C. juglandicola* (A) and *P. juglandis* (B) on walnut throughout world

世界范围内,核桃黑斑蚜低度适生区:在亚洲,分布于俄罗斯西伯利亚南部地区、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦北部、伊朗及阿富汗北部,土耳其;在欧洲,分布在俄罗斯东欧平原北部地区、瑞典、芬兰、英国北部、西班牙、乌克兰东部;在非洲,分布于阿尔及利亚、摩洛哥北部,南非也有少量分布;南美分布在秘鲁、智利及阿根廷南部少数区域。中度适生区:在亚洲,分布在塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦、阿富汗;在欧洲,分布在瑞典、芬兰、英国北部、西班牙、乌克兰;在非洲,分布在阿尔及利亚、摩洛哥北部。高度适生区:在亚洲,分布在韩国、朝鲜、尼泊尔;在欧洲,高度适生区域面积比例较大,包括乌克兰西部、波兰、德国、意大利、法国、捷克、罗马尼亚、奥地利、丹麦、荷兰、英国南部、保加利亚、南斯拉夫、匈牙利等国家;北美洲主要潜在分布区在加拿大南部和美国。

与核桃黑斑蚜相比较,核桃全斑蚜为我国新入侵的害虫,低度气候适生区范围更窄,中、高度气候

适生区范围则较广。核桃全斑蚜在我国内蒙古无适生区域,华北、东北地区中低度适生区也大幅度减少,高度适生区则与核桃黑斑蚜相似,在新疆西北部出现中度适生区;国外在欧洲及北美洲中、高度适生区则比核桃黑斑蚜广。

## 2.2 未来气候条件下 2 种核桃蚜虫在世界范围的气候适生区

由 CLIMEX 模型模拟计算出 2030、2080 年 2 种核桃蚜虫的气候适生区(图 2)。核桃黑斑蚜 2030 年气候条件下世界范围内的适生区域范围相比目前有扩大趋势。亚洲适生区无明显变化,与目前气候条件下的适生区相似。欧洲气候适生区显著扩大,在挪威、瑞典、芬兰、俄罗斯的中、高度适生区均扩大。北美洲的低、中、高度适生区也有部分增加。在 2080 年气候条件下,核桃黑斑蚜的气候适生区域范围相比 2030 年表现为扩大趋势。欧洲、北美洲的气候适生区纬度明显升高,低、中、高度气候适生区都向北移动,亚洲的气候适生区与 2030、2080 年气候条件下相比,中、高度气候适生区也有部分增加。

在 2030 年气候条件下,核桃全斑蚜的气候适生区域范围相比目前气候条件下也表现为扩大趋势。在亚洲的气候适生区中,俄罗斯西部的低、中度适生区明显扩大,其他国家的气候适生区与目前气候条件下的气候适生区相似。欧洲、北美洲的气候适生区也明显扩大;2080 年气候条件下,核桃全斑蚜的气候适生区范围相比 2030 年表现为扩大趋势。在亚洲,俄罗斯西部的中、高度气候适生区大幅度增加,其他国家的气候适生区与 2030 年气候条件下的气候适生区相似;在欧洲,气候适生区分布的纬度明显升高,并且多为高度适生区。北美洲的中、高气候适生区也有部分增加,加拿大的中、高度气候适生区增加,美国的高度气候适生区减少。

## 2.3 未来气候条件下核桃蚜虫在中国的气候适生区

模拟结果表明,我国核桃蚜虫的分布区在目前、2030、2080 年情景下存在一定的差异性,随气候的变化核桃黑斑蚜未来潜在气候适生区范围西部增加、中部减小,东部增加;核桃全斑蚜未来潜在气候适生区范围为西部增加、中部减小,东部无明显变化。

核桃黑斑蚜 2030 年气候条件下的气候适生区与目前相比,东北、华北地区适生区面积均增大,高

度适生区面积在黑龙江佳木斯,吉林长春,辽宁沈阳、本溪、丹东明显增加,新疆西北部的中、低度适生区面积也表现为增大。2080 年气候条件下的适生区域范围相比 2030 年,东北地区的中、高度适生区面积均增大;江苏、安徽、河南的高度适生区也减小,表现为华北、华中、华东地区的适生区面积变窄;新疆西北部的中、低度适生区面积表现为扩大。

核桃全斑蚜 2030 年气候条件下的气候适生区

与目前相比,在华北、华中,安徽、江苏、河南的适生区面积减少,新疆西北部的中度适生区面积增大。2080 年气候条件下气候适生区范围与 2030 年相比,东北地区中、高度适生区面积减小;江苏、安徽、河南的高度适生区也减小,表现为华北、华中、华东地区的适生区面积变窄并小于同期核桃黑斑蚜适生区。

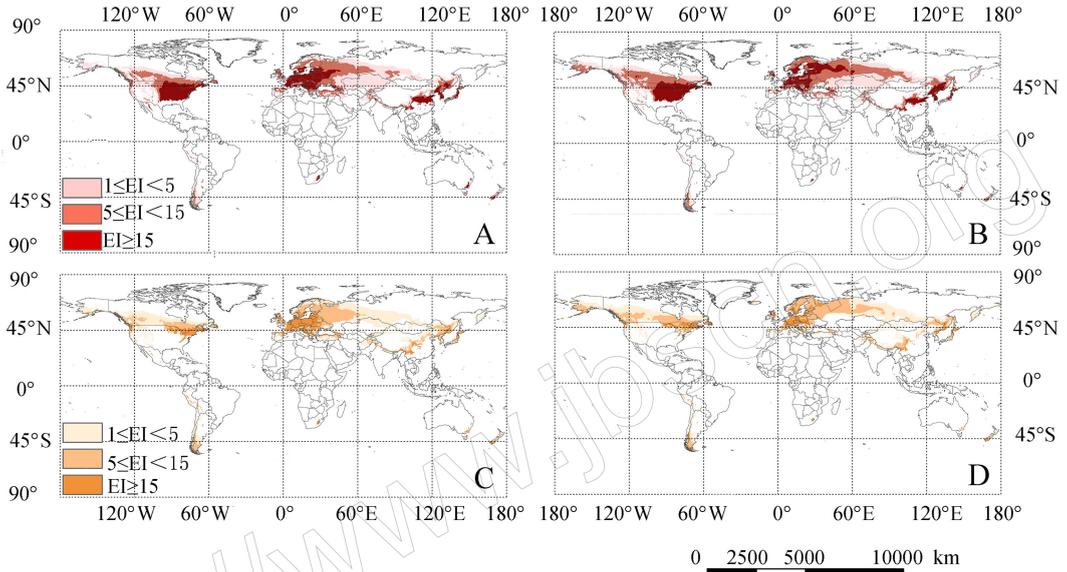


图2 未来条件下核桃黑斑蚜 2030 (A)、2080 年 (B),核桃全斑蚜 2030 (C)、2080 年 (D) 的潜在气候适生区

Fig.2 The potential distribution of *C. juglandicola* in 2030 (A), 2080 (B) and *P. juglandis* in 2030 (C), 2080 (D)

## 2.4 目前气候下 2 种核桃蚜虫种群动态分析

从目前气候下 CLIMEX 模型模拟的我国部分地区的 GI 值来看,核桃黑斑蚜在辽宁、山东、河南、新疆的 GI 值均呈双峰型,说明核桃黑斑蚜在这些地区一年内有 2 个高峰期。而核桃全斑蚜在部分地区 GI 值为单峰型,在部分地区则为双峰型。2 种蚜虫的种群动态与当地气候条件(特别是夏季的高温)和蚜虫生物学特征(耐高温的能力)密切相关(图 3)。

## 3 结论与讨论

在 CLIMEX 模型预测中,在目前气候条件下,核桃黑斑蚜的中、高度潜在适生区面积明显大于核桃全斑蚜。在未来气候条件下,2 种核桃蚜虫的潜在气候适生区纬度越来越高,这可能是全球气候变暖导致的结果。大多数植物和动物(变温动物)的分布都是由气候决定的(Andrewartha & Birch, 1954; Woodward, 1987),Eagar (1978) 观察到凤仙

花 *Impatiens balsamina* L. 在高温下表皮干燥致使凤仙花蚜虫 *Adelges piceae* Ratz. 死亡,石作雄(2019)在玉米田中调查发现夏季多雨,湿度过大,会导致蚜虫大量死亡。本研究结合对 2 种核桃蚜虫的基础生物学分析发现,核桃黑斑蚜更倾向于温暖的环境,核桃全斑蚜更倾向于湿润的环境,这可能是影响 2 种核桃蚜虫的潜在分布的环境因子。

CLIMEX 模型中每个参数值的更改都会导致模拟结果的不同,在调试的 22 个相关参数中,影响核桃蚜虫地理分布的主要胁迫因子是干胁迫;从 2 种核桃蚜虫在气候带分布来看,卵滞育是其分布的关键因子之一,昆虫的滞育主要发生在高纬度寒冷的冬季或热带、亚热带地区干旱、炎热的季节(曾庆礼等,2004)。2 种核桃蚜虫主要分布在温带,在冬季以卵滞育越冬。在未来气候向着温暖、湿润的方向发展条件下(秦大河等,2005),其越冬习性可能发生改变,分布区也可能延伸到热带等目前无适生性的区域,这需要更一步的研究和分析。

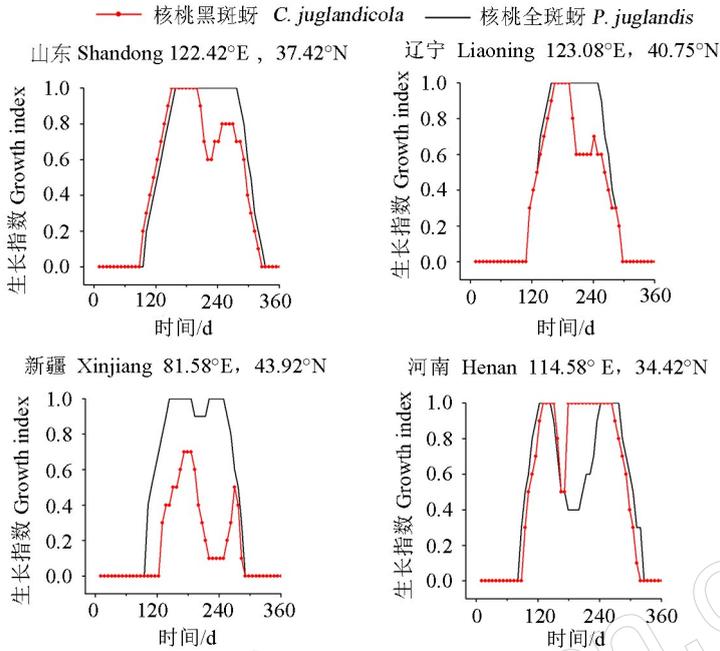


图 3 目前气候条件下核桃黑斑蚜、核桃全斑蚜在中国部分适生区的生长指数

Fig.3 GI values of *C. juglandicola* and *P. juglandis* in the suitable areas of China under current climatic conditions

2 种核桃蚜虫年际内的种群动态存在很大的差异性,特别是种群波动存在单峰或者双峰现象,而影响这种现象出现的原因尚不清楚。1 年内核桃黑斑蚜种群有 2 个危害高峰,一般出现在 6 月和 8 月中下旬到 9 月初左右(杨俊杰和郭德明,1998; Jaskiewicz & Kmeic, 2007)。昆虫种群动态可能受到密度依赖性、复杂营养相互作用(Rosenheim, 1998)、气候和植物条件、迁移和景观(De et al., 1991; Kareiva, 1990)等因素的综合影响。研究发现,在加利福尼亚的中央谷,6 月份核桃黑斑蚜较多(>5 蚜虫·叶<sup>-1</sup>)的核桃果园,9 月份基本没有蚜虫;6 月份蚜虫数量较少的地块(<5 蚜虫·叶<sup>-1</sup>)并没有表现出如此一致的趋势,有些地块在 9 月份蚜虫密度较高(Mace & Mills, 2017),这与 Sluss (1967)观察到核桃黑斑蚜在叶片上的密度受先前蚜虫取食叶片使其发生化学变化的影响相一致。导致核桃黑斑蚜种群出现双峰的原因还可能与夏季核桃的休眠引起植物营养下降以及这一段时期的高温相关。但全斑蚜种群动态相对比较复杂, Jaskiewicz & Kmeic (2007)在波兰发现核桃全斑蚜种群出现单峰, Atlihan et al. (2015)研究表明,核桃全斑蚜种群动态在土耳其呈双峰模式,但其内在因子需要严格的试验证实。

人类活动是核桃蚜虫传播的重要因素。在地

中海沿岸的欧洲地区,中亚和中国东北沿黄河流域这 3 个早期主要果树栽培中心的宏观区域中,发现了核桃种子的化石(Wilkinson et al., 2012; Xi, 1989),而核桃黑斑蚜原产于中东和中亚,核桃全斑蚜原产于伊朗,这与早期核桃种植区相吻合。随后,丝绸之路等贸易往来将中国和印度连接到地中海地区,促进了核桃蚜虫的传播扩散, Pollegioni et al. (2015)研究发现,人类活动在较大地理区域上的相似性促进了核桃的传播,核桃蚜虫随之从早期的地理分布区向其他区域扩散。

目前,国外核桃蚜虫发生区多使用化学农药进行防治,引起农药抗性倍数急剧上升,天敌多样性下降(Van den et al., 1979)。单独依靠农药很难控制蚜虫种群增长和成灾(Dixon & Kindlammn, 1998)。而在我国,核桃蚜虫在部分核桃种植区发生,经济损失相对较少,不建议进行化学防治,特别是利用飞机进行大面积的化学防治。如在新疆地区,核桃分布区约是棉花分布区的 1/6,棉田中的自然天敌,如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas、大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur)、食蚜蝇 Syrphidae 等天敌迁移到果园可对核桃蚜虫进行控制;在云南地区,丰富的作物资源,多样性的天敌群落,使核桃蚜虫可在自然条件下得到控制。

## 参考文献

- 贾文明, 周益林, 丁胜利, 段霞瑜, 2005. 外来有害生物风险分析的方法和技术. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 12(1): 195-200.
- 蒋小龙, 邵维治, 王锡云, 2018. 云南省外来有害生物入侵现状及口岸疫情截获分析. 生物安全学报, 27(4): 279-283.
- 孔令斌, 林伟, 李志红, 万方浩, 王之岭, 黄冠胜, 2008. 基于 CLIMEX 和 DIVA-GIS 的瓜实蝇潜在地理分布预测. 植物保护学报, 35(2): 148-154.
- 马菲, 姚红梅, 何友元, 陈克, 余慧, 刘增辉, 秦浩, 2014. 基于 CLIMEX 的葡萄根瘤蚜在中国的适生性分析. 环境昆虫学报, 36(3): 293-297.
- 秦大河, 陈宜瑜, 李学勇, 2005. 中国气候与环境演变: 上卷. 北京: 科学出版社.
- 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.
- 石作雄, 2019. 张掖市玉米制种田蚜虫发生规律与影响因素的调查. 农业科技与信息, 559(2): 31, 34.
- 王聪, 蔡普默, 仪传, 2018. 2007—2017 年外来入侵害虫风险评估的文献分析及常用风险评估模型介绍. 中国农业大学学报, 23(8): 225-238.
- 吴跃开, 杨霞, 付莉, 2018. 贵州首次发现核桃上的新害虫——核桃全斑蚜. 植物检疫, 32(5): 50-53.
- 邢海超, 吕昭智, 赵莉, 2018. 警惕核桃全斑蚜的潜在危险风险. 环境昆虫报, 40(4): 769-774.
- 杨俊杰, 郭德明, 1998. 核桃黑斑蚜的生物学特性及防治. 落叶果树 (2): 21-21.
- 曾庆礼, 陈芳艳, 张冬燕, 林健荣, 2004. 昆虫滞育及滞育关联蛋白. 广东蚕业, 38(2): 37-41.
- 张毅萍, 2001. 世界及我国核桃生产概况和几个问题// 中国园艺学会. 干果研究进展(2). 北京: 中国林业出版社: 1-5.
- ANDREWARTH A H G, BIRCH L C, 1954. *The distribution and abundance of animals*. Chicago: University of Chicago Press.
- AQAVERDI N I, INQILAB N G, 2018. Some bioecological peculiarities of *Panaphis juglandis* (Goetze, 1778) and *Chromaphis juglandicola* (Kaltenbach, 1843) (Hemiptera, Aphididae) the pests of persian walnut (*Juglans regia* L.) in Azerbaijan. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2): 800-803.
- ATLIHAN R, ÖZGÖKÇE M S, AKKÖPRÜ E P, KASAP İ, KAYDAN M B, ŞENAL D, 2015. Seasonal abundance of aphids and their natural enemies in walnut orchards in Lake Van Basin, Turkey. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 6(1): 3-12.
- AVILA G A, DAVIDSON M, VAN HELDEN M, FAGAN L, 2019. The potential distribution of the Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*): an updated distribution model including irrigation improves model fit for predicting potential spread. *Bulletin of Entomological Research*, 109(1): 90-101.
- CHEJARA V K, KRITICOS D J, KRISTIENSEN P, SINDEL B M, WHALLEY R D B, NADOLNY C, 2010. The current and future potential geographical distribution of *Hyparrhenia hirta*. *Weed Research*, 50(2): 174-184.
- COEUR D'ACIER A, PÉREZ-HIDALGO N, PETROVIC-OBRAĐOVIC O, 2010. Aphids (Hemiptera, Aphididae). Chapter 9.2. Alien terrestrial arthropods of Europe. *BioRisk*, 4(1): 435-474.
- DE ROOS A M, MCCAULEY E, WILSON W G, 1991. Mobility versus density limited predator-prey dynamics on different spatial scales. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 246: 117-122.
- DIXON A F G, KINDLAMANN P, 1998. Population dynamics of aphids// DEMPSTER J P, MCLEAN I F G. Insect populations in theory and in practice. Dordrecht: Springer: 207-230.
- EAGAR C C, 1978. *Distribution and characteristics of balsam woolly aphid infestations in the Great Smoky Mountains*. Master's Thesis. Knoxville: University of Tennessee.
- FENG X, ZHOU H, HU Y, ZULFIQAR S, LUO X, MALVOLI M E, ZHAO P, 2018. The phytogeographic history of common walnut in China. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1399.
- HEIE O E, 1982. *The Aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscandia and Denmark. The family Drepanosiphidae. II*. Scandinavian: Scandinavian Science Press.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. New York: Cambridge University Press.
- JASKIEWICZ B, KMEIC K, 2007. The occurrence of *Panaphis juglandis* (Goetze) and *Chromaphis juglandicola* (Kalt.) on walnut under the urban conditions of Lublin. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 6(3): 15-26.
- KAREIVA P, 1990. Population dynamics in spatially complex environments: theory and data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 330: 175-190.
- KRITICOS D J, JAROSIK V, OTA N, 2014. Extending the suite of BIOCLIM variables: a proposed registry system and case study using principal components analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(9): 956-960.

- LEE Y, KIM S, LEE S, 2018. A first record of three aphid pests (Aphididae: Calaphidinae) on walnut in Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(4): 531-537.
- MACE K C, MILLS N J, 2017. Connecting natural enemy metrics to biological control activity for aphids in California walnuts. *Biological Control*, 106: 16-26.
- MARTÍNEZ M L, LABUCKAS D O, LAMARQUE A L, MAESTRI D M, 2010. Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(12): 1959-1967.
- OLSON W, 1974. Dusky-veined walnut aphid studies. *California Agriculture*, 28(7): 18-19.
- PAULSEN C M, COTTRELL T E, RUBERSON J R, 2013. Distribution of the black pecan aphid, *Melanocallis caryaefoliae*, on the upper and lower surface of pecan foliage. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 146(2): 252-260.
- POLLEGIONI P, WOEXTE K E, CHIOCCHINI F, DEL LUNGO S, OLIMPERI I, TORTOLANO V, MAVOLTI M E, 2015. Ancient humans influenced the current spatial genetic structure of common walnut populations in Asia. *PLoS ONE*, 10(9): e0135980.
- POUTSMA J, LOOMANS A J M, AUKEMA B, HEIJERMAN T, 2008. Predicting the potential geographical distribution of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*, using the CLIMEX model. *Biological Control*, 53: 103-105.
- ROSEHEIM J A, 1998. Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. *Annual Review of Entomology*, 43(1): 421-447.
- SLUSS R R, 1967. Population dynamics of the walnut aphid, *Chromaphis juglandicola* (Kalt.) in Northern California. *Ecology*, 48(1): 41-58.
- SUTHERST R W, BOURNE A S, 2009. Modelling non-equilibrium distributions of invasive species: a tale of two modelling paradigms. *Biological Invasions*, 11(6): 1231-1237.
- VAN DEN BOSH R, HOM R, MATTESON P, FRAZER B, MESSENGER P, DAVIIS C, 1979. Biological control of the walnut aphid in California: impact of the parasite, *Trioxys pallidus*. *Hilgardia*, 47(1): 1-13.
- WOODWARD F I, 1987. *Climate and plant distribution*. New York: Cambridge University Press.
- WILKINSON K N, GASPARIAN B, PINHASI R, AVETISYAN P, HOVSPYAN R, ZARDARYAN D, SMITH A, 2012. Areni-1 cave, armenia: a chalcolithic-early bronze age settlement and ritual site in the southern Caucasus. *Journal of Field Archaeology*, 37(1): 20-33.
- XI R T, 1989. Discussion on the origin of walnut in China. *Acta Horticulturae*, 284: 353-362.
- (责任编辑:郑姗姗 郭莹)
- 
- (上接第 105 页)
- WANG J, YAN R F, XU L X, LI X G, 2007. The second glutamic acid in the C-terminal CRD affects the carbohydrate-binding properties of recombinant galectins of *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 148(3/4): 247-255.
- YOUNG A R, MEEUSEN E N, 2004. Galectins in parasite infection and allergic inflammation. *Glycoconj Journal*, 19(7/8/9): 601-606.
- ZHAO L L, SUN J H, 2017. Pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner) Nickle// *Biological invasions and its management in China*. Singapore: Springer: 3-21.
- ZHAO L L, WEI W, KANG L, SUN J H, 2007. Chemotaxis of the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, to volatiles associated with host pine, *Pinus massoniana*, and its vector *Monochamus alternatus*. *Journal of Chemical Ecology*, 33(6): 1207-1216.
- ZHOU J, ZHAO L L, YU H Y, ZAHNG W, HU S N, ZHOU Z, SUN J H, 2018. Immune tolerance of vector beetle to its partner plant parasitic nematode modulated by its insect parasitic nematode. *The FASEB Journal*, 32(9): 4862-4877.
- (责任编辑:郭莹)