气候变化条件下悬铃木方翅网蝽在中国的适生性分析

崔亚琴[1,2]， 郭思维[3]， 葛雪贞[4]， 张琳婧[5]， 刘随存[1,2*]

（1. 山西省林业科学研究院，太原 030012；2. 中国林业科学研究院华北林业研究所，太原 030012；
3. 北京林业大学，北京 100083；4. Department of Integrative Biology，University of Guelph，
Canada N1G 2W1；5. 浙江大学，杭州 310058）

摘要 悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* 是 2002 年入侵我国的有害生物，严重为害悬铃木等园林植物。本文利用 CLIMEX 和 GIS 软件，并结合悬铃木方翅网蝽已知的地理分布和生物学数据，对其在当前（1981 年－2010 年）及未来（2011 年－2040 年、2041 年－2070 年和 2071 年－2100 年）气候条件下中国的适生区进行预测。结果表明：当前气候条件下，悬铃木方翅网蝽在我国适生范围较广，适生区占我国内陆总面积的 61.27%，主要集中在我国东半部地区，其中高度适生区主要集中在华南、华中大部、华东大部及西南局部地区；未来气候变暖情境下，悬铃木方翅网蝽的适生区呈现向东北方向扩展的趋势，总适生范围不断增大，且适生程度增加。研究结果为有效控制悬铃木方翅网蝽提供了科学参考依据，对于现已发生和预测出的潜在适生分布区，要加强检疫，防止其进一步扩散传播。

关键词 悬铃木方翅网蝽； CLIMEX； GIS； 气候变化； 适生区

中图分类号： Q 968 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019034

Prediction of potential geographical distributions of *Corythucha ciliata* (Hemiptera：Tingidae) in China under climate change condition

CUI Yaqin[1,2]， GUO Siwei[3]， GE Xuezhen[4]， ZHANG Linjing[5]， LIU Suicun[1,2]

（1. *Shanxi Academy of Forestry Sciences*，*Taiyuan* 030012，*China*；
2. *Research Institute of Forestry in North China*，*Chinese Academy of Forestry*，*Taiyuan* 030012，*China*；
3. *Beijing Forestry University*，*Beijing* 100083，*China*；4. *Department of Integrative Biology*，
University of Guelph，N1G 2W1，*Canada*；5. *Zhejiang University*，*Hangzhou* 310058，*China*）

Abstract The sycamore lace bug (*Corythucha ciliata*) is a dangerous pest which invaded in 2002 and has caused serious harm to *Platanus* spp. and other landscape plants. Based on biological characteristics, geographic distribution records of *C. ciliata* and biological climate data, the potential distributions of *C. ciliata* in China under current (1981－2010) and future (2011－2040, 2041－2070 and 2071－2100) climate warming scenarios were predicted by using CLIMEX and GIS. The results indicated that *C. ciliata* had a wide range of suitable habitats in China under current climatic conditions, accounting for 61.27 percent of national regions. The suitable area for *C. ciliata* was mainly concentrated in the eastern China, and the highly suitable regions were mainly concentrated in most of south China, central China, east China and a small part of southwest China. In future climate warming scenarios, the potential suitable region and degree of *C. ciliata* increased in comparison with the current climatic conditions, and its suitable area showed a trend toward northeast China. The research results provide a scientific reference for effective control of expanding *C. ciliata* populations. Therefore, quarantine measures should be strengthened for the potential suitable distribution areas that have been or predicted to be; meanwhile, more attentions should be paid to the control of *C. ciliata* in order to prevent its further spread and damages.

Key words *Corythucha ciliata*； CLIMEX； GIS； climate change； potential distribution

悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* Say；属于半翅目 Hemiptera，网蝽科 Tingidae，原产于北美洲[1]，是一种迅速扩张的城市外来入侵害虫[2]。该虫扩散能力极强，具有传播速度快、危害严重等特

收稿日期： 2019－01－18 **修订日期：** 2019－02－26
基金项目： 山西省林业科技创新项目（LYCX201925）；山西太原城市生态系统国家定位观测研究站
* 通信作者 E-mail：13934131208@126.com

点[2]。一旦入侵新的地区，极易形成稳定的高密度种群[5]，对悬铃木属植物造成严重威胁，并难以控制。我国于 2002 年在湖南长沙首次发现该虫[4]，2006 年又在湖北武汉发现该虫[5]。悬铃木方翅网蝽已在我国长江流域多地入侵，并呈现出暴发态势[2-3]，现已分布在上海，重庆，江苏南京，浙江杭州，湖北武汉、宜昌、十堰、襄樊、荆州、荆门，贵州贵阳，河南郑州，安徽蚌埠等地[2-3]。

目前，全球气候变暖已被世界各国所公认。IPCC 第五次气候变化评估报告指出，与 1986 年－2005 年相比，2016 年－2035 年全球地表平面温度将上升 0.3～0.7℃，到本世纪末将升高 0.3～4.8℃[6]。昆虫为变温动物，以温度上升为主要特征的气候变暖对其地理分布影响重大。研究表明，伴随着全球气候变暖，物种的分布都向着高海拔、高纬度方向移动变化[7-8]。因此，明确全球气候变暖对悬铃木方翅网蝽在中国的适生区的影响，对于今后该虫的防治工作具有重要意义。

为有效防范悬铃木方翅网蝽在我国的进一步扩散蔓延，研究其适生区域显得尤为重要。生态位模型是利用已知的物种分布数据和相关环境变量，通过一定的算法来推算物种的生态需求，将运算结果投射至不同的空间和时间中，预测物种的实际分布和潜在地理分布[9-10]。近年来，在全球尺度、区域尺度上，CLIMEX 及 MaxEnt 等生态位模型被广泛应用到物种适生性分布预测研究中[11,13]，预测结果均能较好地吻合物种的实际分布。但不同的生态位模型，其理论基础、原理与选择的参数指标均存在差异，对同一物种预测结果也不尽相同。

目前，已有学者采用不同的模型对悬铃木方翅网蝽的适生性进行了分析。朱耿平等利用 MaxEnt 和 GARP 预测了悬铃木方翅网蝽在我国的潜在地理分布[16]，但仅基于其在亚洲的分布数据；朱海燕等利用 Arcview GIS 预测了该虫在我国的适生分布范围[17]，但只考虑了温度指标，未加入湿度等其他环境因素的影响。因此，已有的对悬铃木方翅网蝽的适生性研究存在一定的局限性。为了使预测结果更加符合实际情况，本研究根据悬铃木方翅网蝽的地理分布、生物学数据以及气象数据，利用 CLIMEX 和 ArcGIS 对悬铃木方翅网蝽在中国的适生区进行重新预测并对比分析了当前和未来气候情景下该物种的适生分布及其变化情况，以期为制定我国悬铃木方翅网蝽的科学防控技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究软件

1.1.1 CLIMEX 适生性分析软件

CLIMEX 是一个动态模拟模型，可以反映出物种对于气候变化的响应，通过物种的已知地理分布及生物学数据来拟合物种的 CLIMEX 参数，进而对物种的潜在适生区进行预测[18]。该软件是澳大利亚昆士兰大学 Sutherst 教授和 Maywald 博士研发，最早版本由澳大利亚联合科学与工业研究组织(CSIRO)于 1985 年发布，本研究所用软件为 CLIMEX 4.0.0[19]。

在 CLIMEX 中，利用生态气候参数(ecoclimatic index，EI)评价物种的适生程度，范围为 0～100。EI 值趋近于 0 表明该地不适合物种生存；EI 值趋近于 100 表明该地趋于物种生存的理想环境条件。一般情况下，当 EI ＞ 20，则该地的气候条件较适合该物种生存[20]。EI 值由生长指数(growth indices，GI)、胁迫指数(stress indices，SI)和限制条件(limitation conditions)决定。其中，GI 表明物种在适宜季节的生长潜力，由温度指数(temperature indices，TI)和湿度指数(moisture indices，MI)共同作用。SI 表明物种在非适宜季节的生长潜力，受干胁迫(dry stress，DS)、湿胁迫(wet stress，WS)、热胁迫(heat stress，HS)、冷胁迫(cold stress，CS)以及其 4 个的交互胁迫指数影响。除此之外，有效积温(PDD)和滞育指数(diapause indices，DI)也会影响 EI 值[18]。

1.1.2 ArcGIS 软件

采用美国环境系统研究所(Environment System Research Institute，ESRI)开发的 ArcMap 10.1 软件，借助其空间分析模块中的反距离加权插值(inverse distance weighted，IDW)功能，对 CLIMEX 处理后的 EI 结果进行插值分析，利用专题制图功能得到悬铃木方翅网蝽在当前及未来气候条件下在中国的适生区分布。

1.1.3 ANUSPLIN 软件

结合各气象站点的地理位置和海拔高度，利用 ANUSPLIN 软件对站点观测气候数据中所需的 5 类气象数据进行插值处理，获得高分辨率的均一的格点气象数据(8 km×8 km)，将插值后的数据整理成 ArcGIS 软件所需的格式[21]。

1.2　数据收集

1.2.1　悬铃木方翅网蝽全球分布情况

悬铃木方翅网蝽已知分布地覆盖全球 31 个国家,遍及北美洲、南美洲、欧洲、亚洲和澳洲。在中国,悬铃木方翅网蝽主要分布在长江流域一带,其中在湖南、湖北和江苏危害严重。

1.2.2　气象数据

历史气象数据:从中国气象科学数据共享服务网(http://data.cma.cn/)下载中国地面气候标准值月值数据集(1981 年－2010 年),包括 1 866 个可用气象站点数据(数据集中不包括中国台湾地区的气象站点,因此在适生区预测分析时不考虑台湾地区)。其中月平均降水量(P_{total})、月均最高气温(T_{max})、月均最低气温(T_{min})、9:00 相对湿度(RH09:00)和 15:00 的相对湿度(RH15:00)为 CLIMEX 软件所需的历史气候数据。

未来气象数据:本研究采用温室气体排放浓度最多的 RCP8.5 情景,来研究气候变暖趋势最显著的情况下的适生区变化[22]。根据各模式对中国历史气候条件下气温、降水和相对湿度等气象数据的模拟结果,选择由 CSIRO-QCCCE 提供的分辨率为 192×96 的 CSIRO-Mk3-6-0 模式进行适生性研究[23]。由于气候变化在不同时间尺度具有一定的周期性,一般气候分析选取 30 年为一个时间段,因此本研究选择 2011 年－2040 年、2041 年－2070 年和 2071 年－2100 年 3 个时间段。

1.2.3　悬铃木方翅网蝽 CLIMEX 参数设置

结合已发表文献的数据与 CLIMEX 软件自带的模板数据,对悬铃木方翅网蝽的 CLIMEX 参数进行设置。悬铃木方翅网蝽原产于北美的中东部地区[2,24],全球已知分布地的气候类型有温带大陆性气候、温带海洋性气候与地中海气候,因此选择了 CLIMEX 自带模板数据(温带与地中海模板作为参照)和文献已知的生物学数据是调节参数的基础,并结合悬铃木方翅网蝽的生物学数据以及已知地理分布,不断地调试参数,直到模拟出的当前气候条件下分布范围与已知分布地范围达到最大拟合程度后,最终确定适合悬铃木方翅网蝽的 CLIMEX 参数。参数设置见表 1。

表 1　悬铃木方翅网蝽 CLIMEX 参数表

Table 1　CLIMEX parameter values for *Corythucha ciliata*

CLIMEX 参数	最终值 Final parameter	单位 Unit	设置方法及文献 Setting methods and references
发育起点温度(DV0) The developmental threshold temperature	9	℃	[25－26]
适宜温度下限(DV1) The lower optimum temperature	26	℃	[27－28]
适宜温度上限(DV2) The upper optimum temperature	30	℃	[29]
发育最高温度(DV3) The upper temperature threshold	41	℃	[26]
有效积温(PDD) Effective accumulated temperature	590	DD	[30]
冷胁迫开始积累的温度阈值(TTCS) The cold stress temperature threshold	－12	℃	
冷胁迫积累速率(THCS) The cold stress temperature rate	0	$week^{-1}$	
热胁迫开始积累的阈值(TTHS) The heat stress temperature threshold	41	℃	[29]
热胁迫积累速率(THHS) The heat stress temperature rate	0.005	$week^{-1}$	
发育需要的最低土壤湿度(SM0) Lower soil moisture threshold	0.1		
适宜发育需要的土壤湿度下限(SM1) Lower optimal soil moisture	0.6		
适宜发育需要的土壤湿度上限(SM2) Upper optimal soil moisture	1.2		[31]
发育需要的最高土壤湿度(SM3) Upper soil moisture threshold	1.5		[32]
干胁迫开始积累的阈值(SMDS) The dry stress threshold	0.1		与 SM0 相适应
干胁迫积累速率(HDS) The dry stress rate	－0.000 2	$week^{-1}$	
湿胁迫开始积累的阈值(SMWS) The wet stress threshold	1.6		[33]
湿胁迫积累速率(HWS) The wet stress rate	0.001 5	$week^{-1}$	

1.2.4　生态气候指数 EI 值划分

根据悬铃木方翅网蝽的已知分布情况与 CLIMEX 中对应地区的 EI 值,并结合 Sutherst 的 EI 值>20 即可认为指定区域非常适合某物种的生存的理论[20],最后将悬铃木方翅网蝽的 EI 值划分为以下四种情况:非适生区(EI=0);低度适生区(0<EI≤10);中度适生区(10<EI≤20);高度适生区(EI>20)。

2　结果与分析

2.1　当前气候条件下悬铃木方翅网蝽在中国的适生区

当前气候条件下,悬铃木方翅网蝽在中国的适生范围较大,总适生面积为 588.37 万 km^2,占我国内

陆总面积的 61.27%，适生区域主要集中在我国中东部地区，西北地区零星分布。高、中和低适生区面积分别为 194.32 万 km^2、116.24 万 km^2 和 277.81 万 km^2，分别占我国内陆总面积的 20.24%、12.10%和 28.93%(图 1 和图 3)。

高适生区主要包括我国的江苏、安徽、上海、河南、湖北、湖南、江西、福建、广东、广西、云南、海南和香港大部分地区，山东东南部、云南东南部、陕西东南部、四川东部地区、重庆西部地区、西藏东南部小区域分布。

中适生区主要包括我国的北京、天津、河北中部及东南部、辽宁大部分地区、山西南部及东部少量分布、陕西中部、山东中北部及东部零星分布，四川、重庆、河南、湖北、湖南、江西、浙江、福建、云南、贵州、广西、广东和海南有零星分布。

低适生区主要包括我国的黑龙江、内蒙古、吉林、宁夏，河北北部、山西北部、陕西北部、甘肃东南部及西北部、青海东部、四川中部及东南部，辽宁、新疆、西藏、陕西、湖北、湖南、浙江、福建、云南和贵州有零星分布。

2.2 未来气候条件下悬铃木方翅网蝽在中国的适生区

未来气候条件下，悬铃木方翅网蝽在中国的非适生区范围减小，适生区范围在不断增大，南界明显北移，东界西移，不断向西北方向偏移，西北部地区适生区范围呈现明显的增加趋势；对高度适生区而言，适生南界向北偏移 2°，分布范围主要集中在 18°N－40°N 地区，除江西中北部零星地区逐步减少，其余各省份原有高度适生区范围都逐渐增大，特别是甘肃、四川与陕西交界处，以及山西南部地区增加尤为明显；对中度适生区而言，黑龙江大部分地区、内蒙古东部地区都将成为中度适生区，其余各省在原有中度适生区范围逐渐扩大；对低度适生区而言，新疆、西藏、青海、甘肃、四川和内蒙古地区的适生范围不断扩大，陕西、重庆和湖北的低适生范围不断减少，逐渐变化为中高适生区(图 2)。

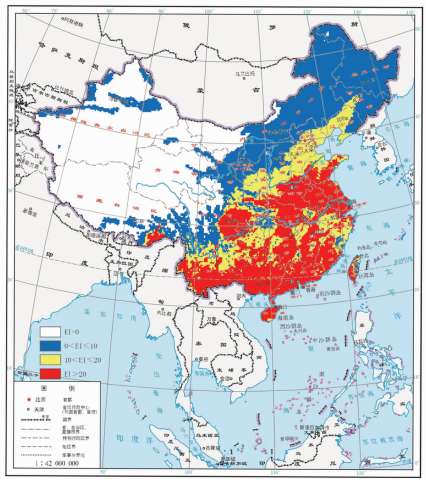
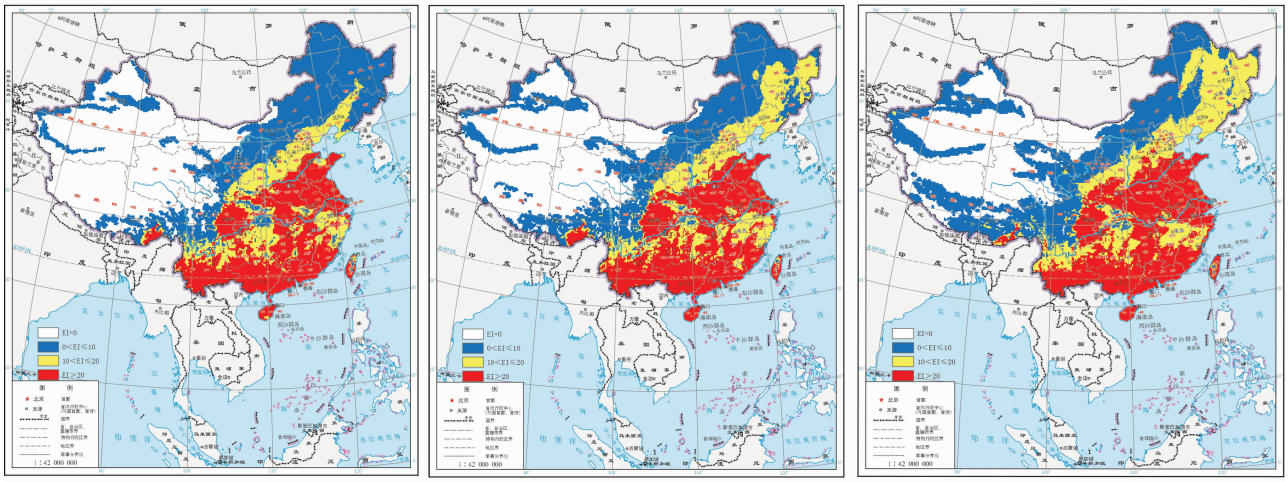


图 1 当前气候条件下悬铃木方翅网蝽在中国的适生区(审图号:GS(2019)2667 号)

Fig. 1 Potential distribution areas for *Corythucha ciliata* under current climate scenarios in China



2011—2040　　2041—2070　　2071—2100

图 2 未来气候条件下悬铃木方翅网蝽在中国的潜在适生区(审图号:GS(2019)2667 号)

Fig. 2 Potential distribution areas for *Corythucha ciliata* under future climate scenarios in China

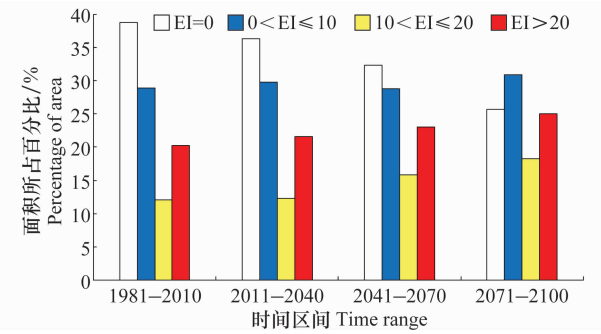


图 3　1981 年—2100 年区间悬铃木方翅网蝽在中国不同适生区面积变化

Fig. 3　Changes in the potential distribution areas of *Corythucha ciliata* in year 1981—2100

从适生面积来看,未来气候条件下(图 3),悬铃木方翅网蝽在我国的非适生区面积所占百分比由 38.73%下降到 25.66%,低度适生区面积所占百分比由 28.93%上升到 30.95%。整体而言,低度适生区面积所占百分比呈增长趋势,中度适生区面积和高度适生区面积所占百分比也呈不断增长趋势。总适生面积增加了 125.56 万 km^2,其中低度适生区增加了 19.38 万 km^2,中度和高度适生区面积分别增加了 59.64 万 km^2 和 46.54 万 km^2,由此可见,未来气候条件下,我国将更加适宜悬铃木方翅网蝽的生存。

从适生程度来看,悬铃木方翅网蝽在中国的低度和中度适生区的适生程度都呈下降趋势,高度适生区的适生程度呈先上升后下降的趋势,总体呈上升趋势(图 4)。由此可见,在未来气候条件下(2011 年—2100 年),环境可能会越来越适宜悬铃木方翅网蝽的生存与扩散。我们以历史气候条件(1981 年—2010 年)为基准,预测出未来气候条件下(2011 年—2040 年,2041 年—2070 年和 2071 年—2100 年)各地区的 EI 值,均与基准图进行 EI 差值,得出未来气候条件下三个不同时间段的(2011 年—2100 年)EI 值变化值并绘制成图 5,以便对比分析未来气候条件下 EI 值变化。从图 5 可以看出,新疆、西藏、青海、内蒙古等西部局部,山西、河南等中部,四川以及东北大部分地区适生程度上升和增幅不断扩大,湖北、湖南、重庆、安徽、江西、浙江部分地区适生程度有所下降。其中,西藏适生程度增加区域逐渐向西和北部方向扩大,新疆天山和阿尔泰山脉沿线地区适生程度增幅明显,东北黑龙江地区适生程度也明显增加,逐步向北扩大区域范围。

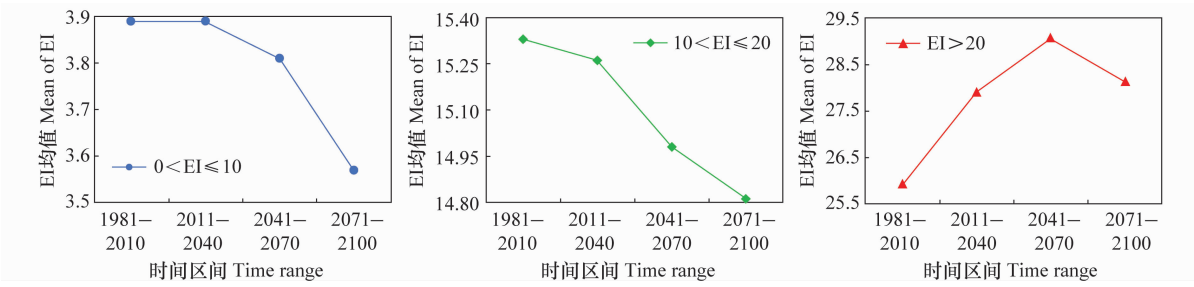


图 4　1981 年—2100 年区间悬铃木方翅网蝽在中国不同适生区 EI 均值变化

Fig. 4　Changes in EI average values of *Corythucha ciliata* in the suitable areas under different climate scenarios in year 1981—2100

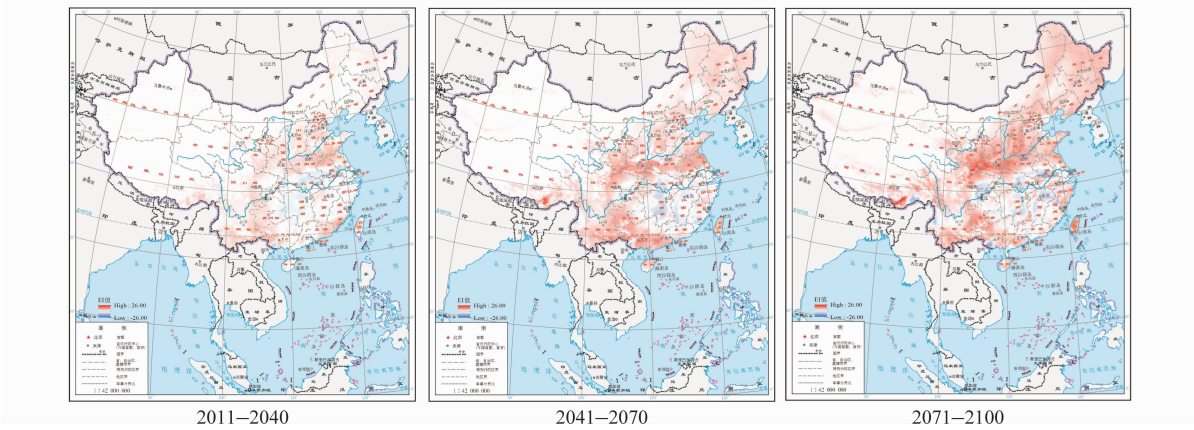


图 5　未来气候条件下悬铃木方翅网蝽在中国的潜在适生程度变化(审图号:GS(2019)2667 号)

(以 1981 年—2010 年为基准,不同时间段下各地区的 EI 差值图)

Fig. 5　Changes in EI values of *Corythucha ciliata* in China under future climate scenarios (2011—2040, 2041—2070 and 2071—2100)

3 结论与讨论

3.1 CLIMEX 模型及影响因子

CLIMEX 模型是利用物种生长发育的生物学数据、发生规律和已知分布地，通过不断地调整气候参数及值的范围，来预测该物种的潜在地理分布范围，并确定某一区域范围内的生态气候指数（EI）的动态模拟过程。

通过查阅文献资料，并结合 CABI 和 GBIF 数据，应用 ArcGIS 软件插值功能，对预测结果的点数据转换成面数据，以弥补 CLIMEX 只能进行点预测的不足之处。此外，CLIMEX 在预测物种潜在地理分布区的过程中，仅考虑了气候因素对适生区的影响，而未考虑非气候因素（如地形、寄主和天敌等）等方面的影响。众所周知，气候和非气候因素共同影响着物种适生分布区，因而在使用 CLIMEX 模型进行预测的过程中，也应综合考虑其他非气候因素的影响，提高物种潜在适生分布区的预测可靠性。本研究中，悬铃木方翅网蝽主要为害悬铃木属植物，悬铃木属植物在我国从北至南广泛栽植与分布，主要作为城市行道树和农村“四旁”绿化树种；此外，该虫对构树 *Broussonetia papyrifera*、粗皮山核桃 *Carya ovata*、白蜡树 *Fraxinus chinensis* 和桐叶槭 *Acer pseudoplatanus* 也会造成一定的危害[1,2,5,34]。可见，其寄主分布比较广泛，在本研究中虽然没有考虑到寄主等非气候因素，但对悬铃木方翅网蝽适生区范围没有限制作用，可以忽略寄主制约因素。因此，用此模型预测悬铃木方翅网蝽在中国的潜在适生分布还是较为合适的。

3.2 CLIMEX 模型对适生区预测的效果及不确定性

随着气候变暖趋势的加剧，悬铃木方翅网蝽的适生范围也会发生变化，因而选取更新的气象数据显得尤为重要，可以对其适生情况进行及时预测与分析。本研究对气象数据进行了海拔高度的插值，从而得到高分辨率的气候数据，以减少因气象站点分布不均一而引起的预测误差。对历史和未来气候条件下，悬铃木方翅网蝽在中国的适生性变化进行了分析。研究结果表明气候变化会对悬铃木方翅网蝽的适生区有一定的影响，会导致其适生范围不断扩大，南界明显北移，东界西移，适生区将向西北和东北方向扩展，大部分地区适生程度增大。

不同学者对悬铃木方翅网蝽在中国的适生性进行了预测，但预测结果存在差异。朱耿平等利用生态位模型 MaxEnt 和 GARP，结合 6 个气候变量和海拔数据构建模型，预测悬铃木方翅网蝽在我国的潜在地理分布区，认为广东和广西的北部以及台湾和海南的局部地区也是潜在地理分布区[16]；朱海燕等以温度指标作为依据，基于 Arcview GIS 预测了该虫在我国的分布，发现广东、广西等华南地区，以及新疆、西藏部分地区均未在适生范围内[17]。本研究中，利用 CLIMEX 和 ArcGIS 预测方翅网蝽在我国的适生性，预测结果与朱耿平等利用 MaxEnt 模型的预测结果基本相近[16]，但其预测东北和西部地区（除新疆和西藏外）未在适生区范围内，此与本研究结果不同，此外，本研究预测在华南地区的适生程度高于朱耿平的结果。目前，在广东、广西、云南等地还未出现悬铃木方翅网蝽为害的文献记录，然而这些地区可能非常适宜该物种生存，当悬铃木方翅网蝽入侵该地区时，可能会出现虫害的大暴发。

造成悬铃木方翅网蝽在我国的适生性预测存在差异的可能原因如下：一、应用不同的生态模型和软件，预测结果会有所差异。如 GARP 和 MaxEnt 与 CLIMEX 相比，输出的结果相对保守，潜在地理分布区范围较小、适生程度较低[16]。二、选择的参数指标和气象数据不同。朱耿平等选择了与气温和降水相关的 6 个气候变量和海拔作为变量因子[16]，朱海燕等主要利用了温度气象数据作为变量因子预测该物种在我国的适生性[17]。选择不同的参数指标和气象数据，对于同一物种的适生性预测结果存在不确定性和争议性。预测物种适生性可以采用不同的生态位模型，而任何模型都有其特点和优劣，需要在研究过程中不断地改进和优化，来完善模型。因此，在今后研究中，可以基于不同生态位模型对同一物种适生性预测进行比较分析，了解不同模型对于同一物种预测的普适性和可靠性；针对 CLIMEX 软件的适生性预测研究，调节参数（因环境、物种而异），优化模型，提高预测结果的准确度。

3.3 气候变化情景下悬铃木方翅网蝽适生区的变化特征

在气候变化情景下，在我国悬铃木方翅网蝽中度适生区范围不断向东北地区扩增，到 2100 年将覆盖 2/3 的东北地区，而中度适生区只延伸到甘肃与陕西交界的南部地区。这可能是由我国西部和东北部地区的气候条件所致。西部地区常年干旱，年均降水量不足 200 mm，表现出冷干的气候特征；东北

地区冬季寒冷,但雨量充沛,大兴安岭以东年均降水量可达 500～750 mm(以西低于 400 mm),表现出冷湿的气候特征。适生范围不断地向冷湿地区延伸,而该物种在冷干的西部地区适生程度受限,但适生程度究竟多大有待于进一步的研究。

参考文献

[1] HALBERT S E,MEEKER J R. The sycamore lace bug,*Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera:Tingidae) [J]. Entomology Circular (Gainesville),1998,387:1－2.

[2] 王福莲,李传仁,刘万学,等. 新入侵物种悬铃木方翅网蝽的生物学特性与防治技术研究进展[J]. 林业科学,2008,44(6):137－142.

[3] 鞠瑞亭,李博. 悬铃木方翅网蝽:一种正在迅速扩张的城市外来入侵害虫[J]. 生物多样性,2010,18(6):638－646.

[4] STREITO J C. Note sur quelques espèces envahissantes de Tingidae: *Corythucha ciliata* (Say, 1932), *Stephanitis pyrioides* (Scott, 1874) et *Stephanitis takeyai* Drake and Maa, 1955 (Hemiptera Tingidae) [J]. L′ Entomologiste, 2006, 62: 31－36.

[5] 李传仁, 夏文胜, 王福莲. 悬铃木方翅网蝽在中国的首次发现[J]. 动物分类学报, 2007, 32 (4): 944－946.

[6] OFIPCC W G I. Climate change 2013: The physical science basis [J]. Contribution of Working, 2013, 43(22):866－871.

[7] BÄSSLER C, MÜLLER J, HOTHORN T, et al. Estimation of the extinction risk for high-montane species as a consequence of global warming and assessment of their suitability as cross-taxon indicators [J]. Ecological Indicators, 2010, 10(2):341－352.

[8] COLWELL R K, BREHM G, CARDELÚS C L, et al. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics [J]. Science, 2008, 322(5899):258－261.

[9] ARAUJO M B,PETERSON A T. Uses and misuses of bioclimatic envelope modelling [J]. Ecology, 2012, 93: 1527－1539.

[10] 朱耿平,刘国卿,卜文俊,等. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J]. 生物多样性,2013,21(1): 90－98.

[11] SUTHERST R W, MAYWALD G. A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): implications for invasion of new regions, particularly Oceania [J]. Environmental Entomology, 2005, 34(2): 317－335.

[12] 邓都,阮颖,马平,等. 基于生态位和 GIS 的宽叶酢浆草在中国的适生性分析[J]. 西南农业学报,2012,25(6):2272－2278.

[13] 徐晗,宋云,范晓虹,等. 3 种异株苋亚属杂草入侵风险及其在我国适生性分析[J]. 植物检疫, 2013, 27(4):20－23.

[14] 李志红,秦誉嘉. 有害生物风险分析定量评估模型及其比较[J]. 植物保护, 2018,44(5): 134－145.

[15] 史丽, 申荣荣, 高雪峰, 等. 潜蝇亚科六种昆虫在中国的适生区预测[J]. 植物保护, 2017, 43(2):43－49.

[16] 朱耿平, 王晓静, 刘国卿, 等. 悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(6):1652－1658.

[17] 朱海燕,魏和平,罗卿权,等. 新入侵害虫悬铃木方翅网蝽在我国的适生性分析[J]. 安徽农业科学,2016,44(11):176－178.

[18] KRITICOS D J, MAYWALD G F, YONOW T, et al. CLIMEX Version 4, exploring the effects of climate on plants, animals and diseases [C]. Australia: Canberra. 2015: 99－104.

[19] SUTHERST R W, MAYWALD G F. A computerised system for matching climates in ecology [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1985, 13(3): 281－299.

[20] SUTHERST R W. Prediction of species geographical ranges [J]. Journal of Biogeography, 2010, 30(6): 805－816.

[21] HIJMANS R J, CAMERON S E, PARRA J L, et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(15): 1965－1978.

[22] RIAHI K, RAO S, KREY V, et al. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions [J]. Climatic Change, 2011, 109(1/2):33.

[23] JEFFREY S J, ROTSTAYN L D, COLLIER M A, et al. Australia's CMIP5 submission using the CSIRO-Mk3.6 model [J]. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 2013, 63(1):1－13.

[24] HALBERT S E, MEEKER J R. The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae)[J]. Annals of the Entomological Society of America,1983,76(2):262－265.

[25] KIM G H, CHOI M H, KIM J W. Effects of temperatures on development and reproduction of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera, Tingidae)[J]. Korean Journal of Applied Entomology, 1999, 38(2):117－121.

[26] 纪锐, 辛肇军, 娄永根. 温度对悬铃木方翅网蝽生长发育、存活和繁殖的影响[J]. 植物保护学报, 2011, 38(2):153－158.

[27] JU Ruiting, WANG Feng, LI Bo. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* [J]. Journal of Insect Science, 2011, 11(16): 1－12.

[28] JU Ruiting, GAO Lei, ZHOU Xuhui, et al. Tolerance to high temperature extremes in an invasive lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae), in subtropical China [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(1): e54372. doi: 10.1371/journal.pone.0054372. Epub 2013 Jan 24.

[29] 鞠瑞亭. 城市入侵害虫悬铃木方翅网蝽对高温胁迫的耐受性及其生理机制[D]. 上海: 复旦大学, 2012.

[30] 夏文胜, 刘超, 董立坤, 等. 悬铃木方翅网蝽的发生与生物学特性[J]. 植物保护, 2007, 33 (6):142－145.

[31] 杨瑞卿, 王本耀, 彭红玲, 等. 不同栽植基质对上海市 4 种行道树表型生长和根系发育的影响[J]. 林业科学研究, 2017, 30(4):659－666.

[32] ŐSZI B, LANÁNYI M, HUFNAGEL L. Population dynamics of the sycamore lace bug in Hungary [J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2005, 4(1):135－150.

[33] KUKEDI E. On *Corythucha ciliata* Say (Heteroptera, Tingidae) and its spread [J]. Novenyvedelem,2000,36(6):313－317.

[34] 鞠瑞亭, 肖娱玉, 薛贵收, 等. 悬铃木方翅网蝽寄主范围的测定[J]. 昆虫知识, 2010, 47(3):558－562.

(责任编辑: 田　喆)