

气候变化条件下木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区预测



陈燕婷¹ 史梦竹² 傅建炜² 赵紫华³ 刘万学^{4*} 李建宇^{1*}

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福州 350013; 2. 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 福州 350002; 3. 中国农业大学植物保护学院, 农业农村部植物检疫性有害生物监测防控重点实验室, 北京 100193; 4. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为明确木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* Williams et Granara de Willink 1922 在中国的潜在适生区, 基于中国 820 个气象站点的气象数据和未来气候变化数据, 结合木瓜秀粉蚧的生物学特性, 利用 CLIMEX 模型对该虫在中国当前气候以及未来气候条件下的潜在适生区进行预测。结果显示, 木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区主要在南方, 适生区面积占全国陆地总面积的 9.07%。高适生区主要包括海南省、广东省南部、广西壮族自治区南部以及福建省和云南省小部分地区。在未来气候条件下, 2050 年木瓜秀粉蚧的潜在适生区将进一步扩大, 适生区面积所占比例将增加至 15.46%, 且有向北移动的趋势。表明木瓜秀粉蚧对中国南方地区的农业潜在威胁巨大, 建议将该虫增补为检疫对象, 并加强检疫监管和种群动态监测。

关键词: 木瓜秀粉蚧; 潜在适生区; 有害生物风险分析; CLIMEX 模型; 气候变化; 检疫

Potential distribution of papaya mealybug *Paracoccus marginatus* in China under global warming

Chen Yanting¹ Shi Mengzhu² Fu Jianwei² Zhao Zihua³ Liu Wanxue^{4*} Li Jianyu^{1*}

(1. Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, Fujian Province, China; 2. Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-Products, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350002, Fujian Province, China; 3. Key Laboratory of Surveillance and Management for Plant Quarantine Pests, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 4. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: To clarify the potential suitable regions for papaya mealybug *Paracoccus marginatus* Williams et Granara de Willink 1922 in China, CLIMEX model was used to predict the current and future distribution of *P. marginatus* considering climate data and the biological properties of the papaya mealybug. The results showed that the potential distribution of *P. marginatus* in China is predominantly in the southern regions, accounting for 9.07% of the total land area. Highly suitable areas for *P. marginatus* include Hainan, the south of Guangdong and Guangxi, as well as specific regions in Fujian and Yunnan provinces. Under global warming, it is predicted that by 2050, the suitable areas for this mealybug will increase to 15.46%, expanding northwards. These findings raise concerns about the potential severe impact of this mealybug on agricultural production in southern China. Therefore, it is recommended that *P. marginatus* be included in the quarantine pest list, and effects should be made to strengthen quarantine

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC2600400), 福建省公益项目(2023R1022001), 福建省人民政府与中国农业科学院“5511”协同创新工程(XTCXGC2021017, XTCXGC2021011), 福建省农业科学院项目(ZYTS2023010)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: liuwanxue@caas.cn, roy111999@foxmail.com

收稿日期: 2023-09-06

supervision and population dynamics monitoring.

Key words: papaya mealybug; potential geographical distribution; pest risk analysis; CLIMEX model; climate change; quarantine

木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus* Williams et Granara de Willink, 1922 隶属于半翅目蚧总科粉蚧科秀粉蚧属 *Paracoccus*, 是一种重要的世界危险性害虫 (Krishnan et al., 2016)。木瓜秀粉蚧是一种杂食性昆虫, 寄主植物超过 200 种 (张江涛等, 2015), 其中包括重要的经济作物, 如番木瓜 *Carica papaya* L.、木薯 *Manihot esculenta* Crantz、番石榴 *Psidium guajava* L.、芒果 *Mangifera indica* L.、茄子 *Solanum melongena* L. 和马铃薯 *Solanum tuberosum* L. 等 (Sakthivel et al., 2012; 王亚茹等, 2018; 陈青等, 2020)。该虫主要以若虫和雌成虫刺吸植物嫩芽、叶片、茎秆和果实的方式为害, 使得叶片黄化和皱缩、枝条干枯, 最终导致作物的品质和产量下降, 严重时整株死亡, 造成产量损失可达 20%~80% (Mastoi et al., 2014)。木瓜秀粉蚧原产于墨西哥和中美洲地区 (Miller et al., 1999), 于 2010 年传入中国台湾省 (陈淑佩等, 2011), 随后在云南省发现该虫为害经济作物木瓜以及鸡蛋花属 *Plumeria* spp. 园林植物 (Wu et al., 2014)。目前在中国海南省、广东省、广西壮族自治区 (简称广西)、福建省和江西省等均发现了木瓜秀粉蚧, 且为害日趋严重, 严重威胁中国木瓜和木薯等热带经济作物产业的可持续发展 (卢辉等, 2016; 林凌鸿等, 2019; 廖嵩等, 2021)。该虫的传播方式主要通过雌成虫爬行和随气流进行短距离移动 (Mani & Shivaraju, 2016), 以及通过货物运输和苗木调运等方式进行远距离扩散 (顾渝娟和齐国君, 2015), 其一旦蔓延扩散, 将对中国农林业构成重大威胁, 因此明确该粉蚧在中国的潜在适生区具有重要意义。

目前, 已有的木瓜秀粉蚧潜在适生区预测研究均基于最大熵 (maximum entropy, MaxEnt) 模型进行预测。如卢辉等 (2016) 基于 MaxEnt 模型预测木瓜秀粉蚧在中国海南省的适生性; 顾渝娟和齐国君 (2015) 基于 MaxEnt 模型预测木瓜秀粉蚧的适生区主要分布在长江以南地区; 宋子骄等 (2019) 也基于 MaxEnt 模型预测木瓜秀粉蚧在当前气候以及未来气候变化背景下的全球适生区。MaxEnt 模型是基于最大熵理论, 结合物种现有分布区和环境数据, 利用数学模型归纳或模拟其生态位需求, 从而推测物种的潜在适生区 (Phillips et al., 2006), 但该模型未

考虑物种的生物学特性, 对物种现有分布数据完整的依赖性较高。CLIMEX 模型是一种动态模拟模型, 结合了物种的生物学参数和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, 能够较为全面地评估生物在新栖息地的适生能力 (Kriticos et al., 2015)。通常以该模型输出结果中的生态气候指数 (ecoclimatic index, EI) 来评价物种在特定区域的适生程度。目前 CLIMEX 模型已被用于评估多种入侵物种在当前气候及未来气候变化背景下的潜在适生区, 如湿地松粉蚧 *Oracella acuta* (Lobdell) Ferris (陈燕婷等, 2014; Chen et al., 2017)、美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury (Ge et al., 2019) 和云南松毛虫 *Dendrolimus grisea* (Moore) (吴思俊等, 2021) 等。Finch et al. (2021) 基于 CLIMEX 模型预测木瓜秀粉蚧在全球的潜在适生区, 其中在中国的潜在适生区包括广东省、广西、海南省和台湾省部分地区。然而, 目前木瓜秀粉蚧在中国的实际分布区远超过该研究所预测的区域。Finch et al. (2021) 使用的气候数据仅包含中国 86 个气象站点的数据, 且是 1960—1990 年气象数据的平均值, 由于气象站点的稀少和气候数据的过时导致预测结果偏差。因此, 对木瓜秀粉蚧适生性预测的已有报道存在一定不足。

全球气候变化是当今人类面临的最严峻挑战之一, 由此所导致的温度变化对生物的存活和分布均产生了重要影响。第五次气候变化评估报告指出, 预计 2016—2035 年全球地表平均温度将上升 0.3~0.7 °C, 到 21 世纪末在不同温室气体排放情景下将继续升高 0.3~4.8 °C (IPCC, 2014)。昆虫是变温动物, 以气温上升为显著特征的气候变化对其具有显著影响。木瓜秀粉蚧是热带、亚热带物种, 气温升高对木瓜秀粉蚧未来的潜在适生区具有重要影响。因此, 在全球气候变暖背景下, 明确木瓜秀粉蚧的潜在适生区变化具有重要意义。本研究基于中国 820 个近年来 (1980—2010 年) 的平均气候数据和未来气候数据, 利用 CLIMEX 模型对木瓜秀粉蚧在中国目前以及未来的潜在适生区进行更精准地预测, 以期为中国对木瓜秀粉蚧的检疫防控工作提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

气象数据:从中国气象数据中心获得820个气象站点的数据,参考Kriticos et al.(2012)的公式对原始气候数据进行转换,获得CLIMEX模型运行所需的气候数据格式。转换后的气象数据作为目前气候数据,包括中国1980—2010年的月平均最高气温和平均最低气温、月总降雨量和月平均9:00和15:00时的空气相对湿度。未来气候数据采用2050年温室气体排放浓度最高的排放情景RCP8.5条件下的气候数据,来自于CliMond网站(<https://www.climond.org>)。

地图来源:中国地图来源于自然资源部标准地图服务系统。

1.2 方法

1.2.1 目前木瓜秀粉蚧在中国的潜在地理分布预测

采用CLIMEX 2.0软件的地点比较模型进行木瓜秀粉蚧潜在适生区的拟合。模型参数值参考Finch et al.(2021)进行设定,结合目前气候数据,预测木瓜秀粉蚧目前在中国的潜在地理分布。基于CLIMEX模型的输出结果,以 EI 值作为评价物种适生程度的评判标准,范围为0~100。 EI 值为0,说明该地区不适合某物种的生存; EI 值越趋近于100,说明某物种在该地区的适生程度越高。一般情况下, $EI \geq 30$ 即表示某物种非常适合在该地区生存(Kriticos et al., 2015),因此把 $EI \geq 30$ 的区域划分为高适生区; $10 \leq EI < 30$ 的区域划分为中适生区; $0 < EI < 10$ 的区域划分为低适生区; $EI = 0$ 的区域为非适生区。

利用ArcGIS 10.2软件的反距离权重插值功能对CLIMEX模型输出的 EI 值进行插值分析,插值点数设为4,插值单元大小设为5,其他插值参数为默认值。最后,对插值分析后的 EI 值根据上述适生等级进行分类,获得木瓜秀粉蚧的潜在适生区。

1.2.2 世代发生数预测及生长指数拟合

利用CLIMEX模型对木瓜秀粉蚧在中国潜在适生区的世代发生数进行拟合,计算其在海南省、广东省、广西、云南省和福建省等主要分布省份的世代发生数的平均值,以获得木瓜秀粉蚧在该省份的平均世代发生数。同时,为了获得木瓜秀粉蚧在中国由南到北的增殖潜力,基于目前气候数据下,对木瓜秀粉蚧在中国海南省、广东省、广西和福建省的生长指数进行预测。

1.2.3 未来木瓜秀粉蚧在中国的潜在地理分布及变化

基于未来气候数据,利用CLIMEX模型预测2050年木瓜秀粉蚧的潜在适生区,方法同1.2.1。利用ArcGIS 10.2软件对目前和未来气候条件下木瓜秀粉蚧各风险等级的潜在适生区面积进行计算,并进行比较。利用ArcGIS 10.2软件的叠加功能将木瓜秀粉蚧目前和未来的适生区进行叠加分析,以获得木瓜秀粉蚧潜在适生区的变化范围。

2 结果与分析

2.1 目前木瓜秀粉蚧在中国的潜在地理分布

用于预测的820个气象站点中,包含108个潜在适生位点。木瓜秀粉蚧目前的潜在适生区主要分布于中国南部,适生区面积大约占中国陆地总面积的9.07%,其中高适生区包括海南省、广东省南部、广西南部以及福建省南部和云南省小部分地区;中适生区包括台湾省、广东省北部、广西中部、福建省南部和东部以及云南省南部、北部与东部小部分地区;低适生区包括福建省北部小部分地区、江西省南部、广西北部、云南省中部、北部和西部的部分地区、四川省部分地区、重庆市部分地区以及贵州省和湖南省小部分地区(图1)。

2.2 世代发生数预测及生长指数拟合

木瓜秀粉蚧在海南省、广东省、广西、云南省和福建省的平均世代发生数分别为15.5、11.8、11.2、10.6和10.2代。

目前气候条件下,木瓜秀粉蚧在海南省大部分地区的生长指数有1个高峰期,出现在4—5月;在广东省和广西的大部分地区,木瓜秀粉蚧的生长指数则有2个高峰期,分别出现在3—4月和10—11月;在福建省的大部分地区,该粉蚧的生长指数值呈现单峰型,在10—11月(图2)。

2.3 未来木瓜秀粉蚧在中国的潜在地理分布

基于RCP8.5排放情景下的气候数据预测2050年木瓜秀粉蚧的潜在适生区。相比目前的潜在适生区,适生区面积有所增加,占中国陆地总面积的比例由原来的9.07%增加至15.46%。其中低适生区的面积增加较多,为当前的2.08倍。中、高适生区的面积占中国陆地总面积的比例由当前的2.98%和2.08%分别增加为2050年的3.73%和3.34%(图3)。

在RCP8.5排放情景下,2050年木瓜秀粉蚧的潜在高适生区增加了广西中部、广东省中部、福建省

沿海地区以及台湾省西部沿海地区;中适生区则增加了四川省东部部分地区、江西省南部;低适生区增加了浙江省南部和东部、江西省中部和北部、湖南省

大部分地区、贵州省中部以及西藏自治区东南小部分地区(图4)。从整体上看,2050年木瓜秀粉蚧的潜在适生区有向北移动的趋势(图5)。

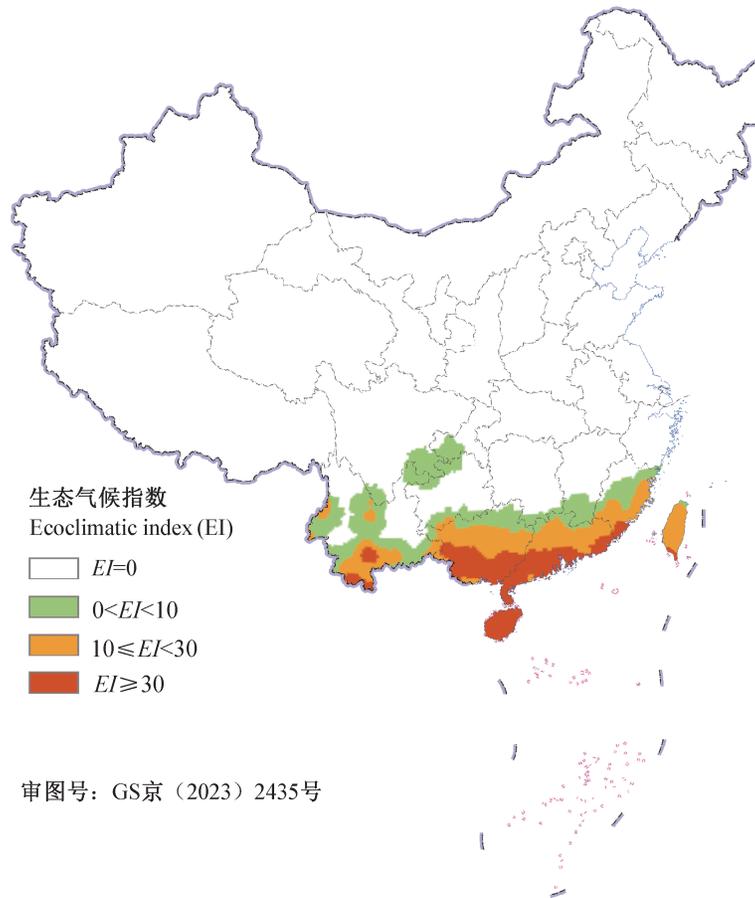


图1 木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区

Fig. 1 Potential distribution of *Paracoccus marginatus* in China

3 讨论

木瓜秀粉蚧是一种重要的外来入侵物种,寄主范围广,且为害严重,目前分布于中国多个省份的部分地区,有进一步扩散的风险。CLIMEX模型在预测外来入侵物种分布方面得到了广泛应用,本研究基于中国详实的气候数据利用该模型预测了木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区,结果显示该粉蚧主要适生区为中国南方的省份,该适生区范围小于顾渝娟和齐国君(2015)基于MaxEnt模型预测的适生区范围。其中,主要区别为本研究中江苏省、安徽省和湖北省为非适生区,可能是由于本研究采用的CLIMEX模型中发育最低温度为13℃,江苏省、安徽省和湖北省冬季的温度较低,因此本研究中这些省份为非适生区。宋子骄等(2019)预测木瓜秀粉蚧的适生区面积占全国总面积的5.10%,小于本研究预测

的适生区面积。顾渝娟和齐国君(2015)与宋子骄等(2019)对木瓜秀粉蚧的适生区预测均基于MaxEnt模型,结果存在较明显的差异,可能是由于这2个基于MaxEnt模型的研究所采用的物种分布数据有差异而造成了预测结果的不同。

CLIMEX模型的运行除了需要物种的分布数据和分布点的气候数据,还要考虑物种的生物学特性,这是非常重要的数据。Finch et al.(2021)基于CLIMEX模型预测的木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区域并不覆盖目前该粉蚧在中国已有分布的省份,如云南省、江西省和福建省,可能是由于用于预测的气候数据较为过时以及气候站点数较少导致预测结果的偏差。本研究采用的气候数据是中国较新且涉及气候站点数较多的数据,预测的木瓜秀粉蚧适生范围包含了该粉蚧在中国的现有分布区。

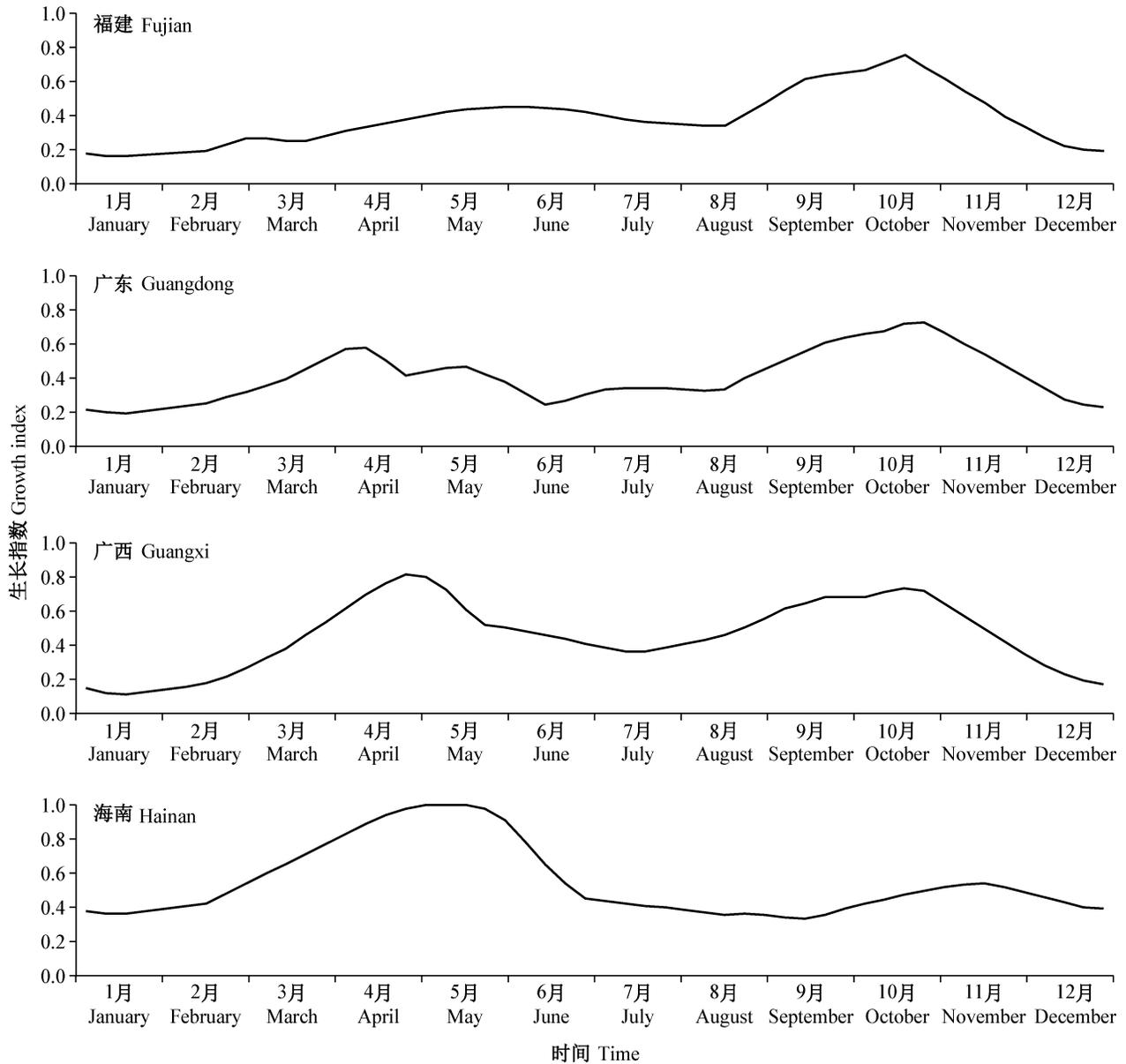


图2 基于CLIMEX预测的目前气候条件下木瓜秀粉蚧在中国部分地区的生长指数

Fig. 2 Growth index of *Paracoccus marginatus* in suitable areas of China under current climatic conditions based on CLIMEX model

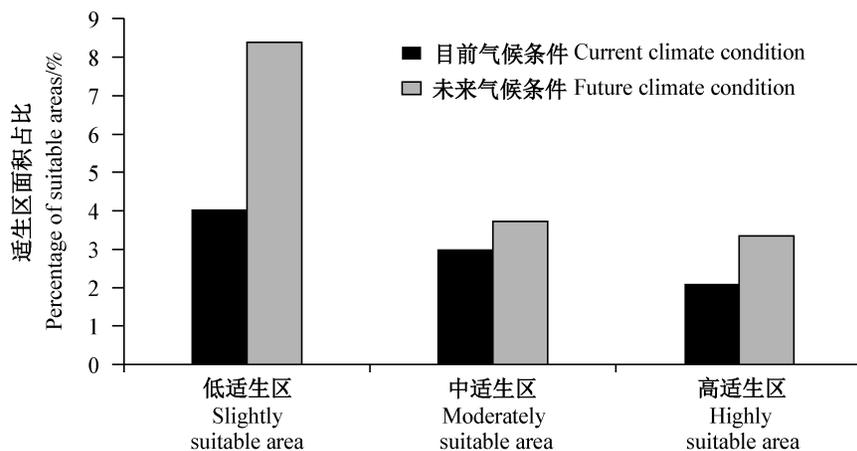


图3 目前和未来气候条件下木瓜秀粉蚧低、中、高适生区面积占比

Fig. 3 Percentage of suitable areas at different levels of *Paracoccus marginatus* under current and future climate conditions in China

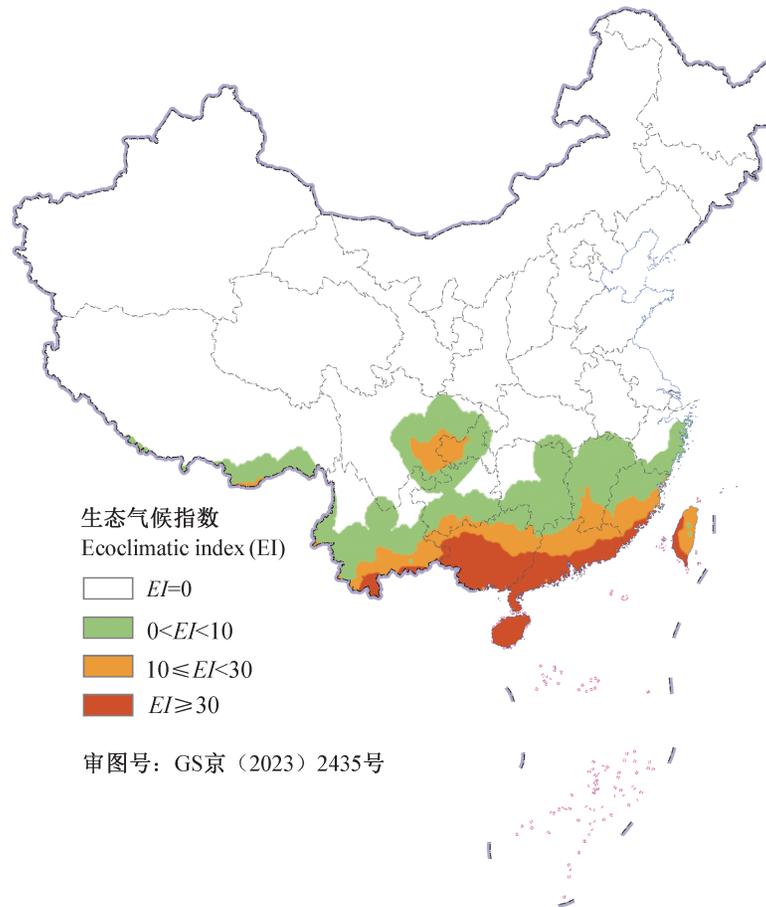


图4 在RCP8.5排放情景下2050年木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区

Fig. 4 Potential suitable areas of *Paracoccus marginatus* in China under RCP8.5 scenario for 2050

气候变化对变温昆虫产生了重大影响,如扩大其适生区范围、增加害虫发生世代数和增加外来昆虫入侵风险等(Skendžić et al., 2021)。本研究结果表明未来气候变化背景下,木瓜秀粉蚧各等级的潜在适生区均有增加,且适生区北界向北移动。宋子骄等(2019)基于MaxEnt模型对木瓜秀粉蚧在2050年RCP2.6和RCP8.5气候变化背景下的潜在适生区进行了预测,得到与本研究相似的结果,适生区面积增加,且潜在适生区的北界向北移动。但是向北移动的范围不同,该研究预测其北界扩大到江苏省和山东省,而本研究结果的北界仅扩大至浙江省、江苏省和湖南省北部。气候变化背景下,其他昆虫的潜在适生区也有向北移动的趋势,如柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama(刘丹等, 2021)、星天牛 *Anoplophora chinensis* (Forster)(Zhou et al., 2022)和春尺蠖 *Apocheima cinerarius* Erschoff(Ding et al., 2022)等;而有些昆虫的潜在适生区则呈现南部收缩的趋势(Chen et al., 2017; 魏鹏等, 2022)。

本研究预测中国南方大部分地区均为木瓜秀粉蚧的中、高适生区,且在未来气候条件下其潜在适生区有向北移动的趋势。木瓜秀粉蚧的寄主范围广、生活周期短、繁殖力强,一旦扩散到其他地区极容易定殖。卢辉等(2020)结合定性因素和定量指标体系,基于木瓜秀粉蚧在中国的综合风险值,也认为该害虫属于高风险有害生物。因此,建议把木瓜秀粉蚧增列为中国检疫性害虫,且必须进一步加强对木瓜秀粉蚧的监控力度和检疫措施,防止其进一步扩散和为害。具体建议措施如下:第一,加强检疫措施。对从该虫现有分布的国家如印度、马来西亚、北美洲和非洲等地区进口的农产品和园林花卉等加强检疫,阻止其进一步传入。第二,加强国内木瓜秀粉蚧的种群动态监测。根据本研究预测结果,把木瓜秀粉蚧的中、高适生区列为重点检测地区,定期调查是否有该虫入侵,并在入侵初期采取相应的防控措施(李建宇等, 2020)。

致谢:中国气象信息中心为本研究提供了气象站点数据,特此感谢!

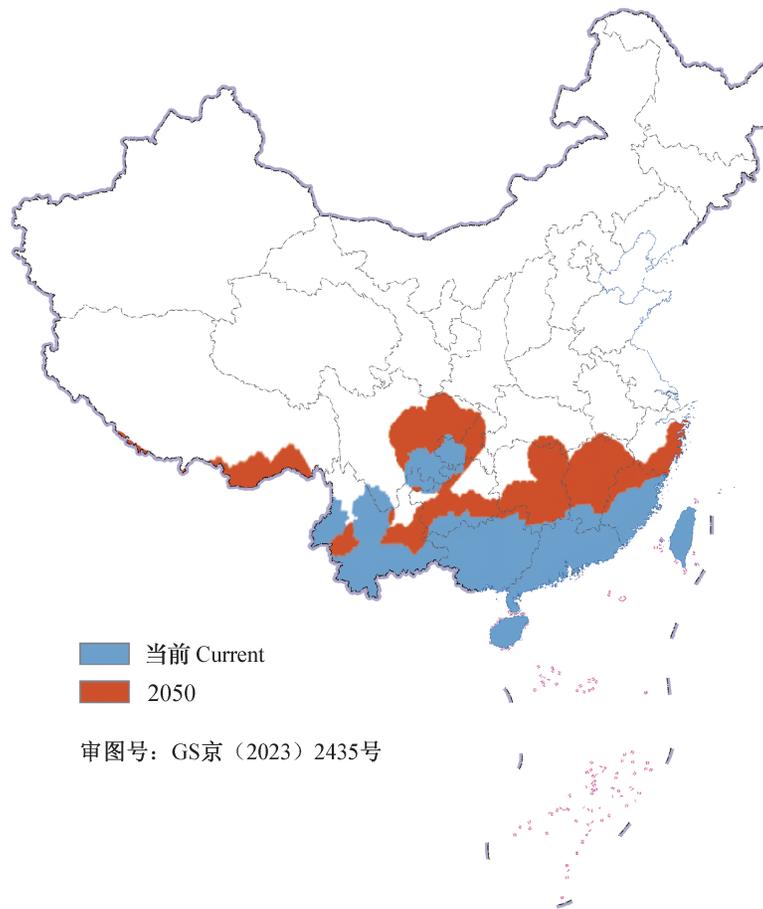


图5 在RCP8.5排放情景下2050年木瓜秀粉蚧在中国的潜在适生区变化

Fig. 5 Change of potential suitable areas of *Paracoccus marginatus* in China under RCP8.5 scenario for 2050

参考文献 (References)

- Chen Q, Liang X, Wu CL, Wang YR, Zhao HP, Chen Q. 2020. Influence of different temperatures on protective enzyme activities of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Genomics and Applied Biology*, 39(1): 241–245 (in Chinese) [陈青, 梁晓, 伍春玲, 王亚茹, 赵惠萍, 陈谦. 2020. 不同温度对木瓜秀粉蚧保护酶活性影响. *基因组学与应用生物学*, 39(1): 241–245]
- Chen SP, Wong JY, Wu WJ. 2011. Preliminary report on the occurrence of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink, in Taiwan. *Taiwan Agricultural Research*, 60(1): 72–76 (in Chinese) [陈淑佩, 翁振宇, 吴文哲. 2011. 台湾新发现的木瓜秀介壳虫(半翅目: 粉介壳虫科)危害初报. *台湾农业研究*, 60(1): 72–76]
- Chen YT, Vasseur L, You MS. 2017. Potential distribution of the invasive loblolly pine mealybug, *Oracella acuta* (Hemiptera: Pseudococcidae), in Asia under future climate change scenarios. *Climatic Change*, 141(4): 719–732
- Chen YT, You MS. 2014. Potential climate- and host plants-suitable distribution of *Oracella acuta* in China based on the CLIMEX and ArcGIS prediction. *Journal of Environmental Entomology*, 36(5): 697–704 (in Chinese) [陈燕婷, 尤民生. 2014. 基于CLIMEX和ArcGIS的湿地松粉蚧在中国的适生性分析. *环境昆虫学报*, 36(5): 697–704]
- Ding WC, Li HY, Wen JB. 2022. Climate change impacts on the potential distribution of *Apocheima cinerarius* (Erschoff) (Lepidoptera: Geometridae). *Insects*, 13(1): 59
- Finch EA, Beale T, Chellappan M, Goergen G, Gadratagi BG, Khan MAM, Rehman A, Rwomushana I, Sarma AK, Wyckhuys KAG, et al. 2021. The potential global distribution of the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus*, a polyphagous pest. *Pest Management Science*, 77(3): 1361–1370
- Ge XZ, He SY, Zhu CY, Wang T, Xu ZC, Zong SX. 2019. Projecting the current and future potential global distribution of *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae) using CLIMEX. *Pest Management Science*, 75(1): 160–169
- Gu YJ, Qi GJ. 2015. Precaution of a new invasive pest, papaya mealybug *Paracoccus marginatus*. *Journal of Biosafety*, 24(1): 39–44 (in Chinese) [顾渝娟, 齐国君. 2015. 警惕一种新的外来入侵生物: 木瓜秀粉蚧 *Paracoccus marginatus*. *生物安全学报*, 24(1): 39–44]
- IPCC. 2014. Impacts, adaptation, and vulnerability, part A: global and sectoral aspects.//Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 59–60
- Krishnan JU, George M, Ajesh G, Jithine JR, Lekshmi NR, Deepasree

- MI. 2016. A review on *Paracoccus marginatus* Williams, papaya mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1): 528–533
- 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(1): 53–64
- Kriticos D, Maywald GF, Yonow T, Zurcher EJ, Herrmann NI, Sutherst RW. 2015. CLIMEX Version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases. Canberra: CSIRO, pp. 184
- Li JY, Shi MZ, Wang QY, Luo YY, Zheng LZ, Fu JW. 2020. Screening and sensitivity of pesticides for controlling new invasive pest *Paracoccus marginatus* on papaya plants. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 35(1): 74–79 (in Chinese) [李建宇, 史梦竹, 王秋月, 罗育英, 郑丽祯, 傅建伟. 2020. 新入侵害虫木瓜秀粉蚧防治药剂的筛选及敏感性测定. *福建农业学报*, 35(1): 74–79]
- Liao S, Liao WC, Li T, Lu HP, Wu M, Wang JG. 2021. Invasive pest *Paracoccus marginatus* was first discovered in Jiangxi Province. *Biological Disaster Science*, 44(1): 10–14 (in Chinese) [廖嵩, 廖为财, 李婷, 卢和平, 吴敏, 王建国. 2021. 江西首次发现入侵害虫木瓜粉蚧 *Paracoccus marginatus*. *生物灾害科学*, 44(1): 10–14]
- Lin LH, Zheng LZ, Shi MZ, Li JY, Wang QY, Li L, Fu JW, Wu MX. 2019. A molecular detection and identification method for papaya mealybug (*Paracoccus marginatus*), the first recorded invasive pest in Fujian Province of China. *Journal of Fruit Science*, 36(9): 1130–1139 (in Chinese) [林凌鸿, 郑丽祯, 史梦竹, 李建宇, 王秋月, 李鑫, 傅建伟, 吴梅香. 2019. 福建新记录入侵害虫木瓜秀粉蚧的分子检测鉴定. *果树学报*, 36(9): 1130–1139]
- Liu D, Yao JM, Yu YW, Duan LC, Cai Z. 2021. Suitable distribution changes of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* in China under global warming. *Journal of Plant Protection*, 48(4): 872–881 (in Chinese) [刘丹, 姚俊萌, 余焰文, 段里成, 蔡哲. 2021. 气候变暖背景下柑橘木虱在中国的适生区变化. *植物保护学报*, 48(4): 872–881]
- Lu H, Lu FP, Liang X, Wu CL, Chen Q. 2016. The potential geographic distribution and spatial pattern of *Paracoccus marginatus* in Hainan Province. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 37(10): 1962–1968 (in Chinese) [卢辉, 卢芙蓉, 梁晓, 伍春玲, 陈青. 2016. 木瓜秀粉蚧在海南的适生性及空间分布型研究. *热带作物学报*, 37(10): 1962–1968]
- Lu H, Tang JH, Lü BQ, Lu FP, He X, Chen Q. 2020. Risk analysis of the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* in China. *China Plant Protection*, 40(2): 73–75, 92 (in Chinese) [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 卢芙蓉, 何杏, 陈琪. 2020. 木瓜秀粉蚧在中国的风险分析. *中国植保导刊*, 40(2): 73–75, 92]
- Mani M, Shivaraju C. 2016. Mealybugs and their management in agricultural and horticultural crops. New Delhi: Springer, pp. 600–655
- Mastoi MI, Azura A, Muhamad R, Idris A, Ibrahim Y. 2014. Survey of papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) and its natural enemies in Peninsular Malaysia. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 30(2): 172–186
- Miller DR, Williams DJ, Hamon AB. 1999. Notes on a new mealybug (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae) pest in Florida and the Caribbean: the papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* Williams and Granara de Willink. *Insecta Mundi*, 13(3–4): 179–181
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4): 231–259
- Sakthivel P, Karuppuchamy P, Kalyanasundaram M, Srinivasan T. 2012. Host plants of invasive papaya mealybug, *Paracoccus marginatus* (Williams and Granara de Willink) in Tamil Nadu. *Madras Agricultural Journal*, 99(7/8/9): 615–619
- Skendžić S, Zovko M, Živković IP, Lešić V, Lemić D. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5): 440
- Song ZJ, Qin YJ, Ma FH, Li YR, Lu GC, Sun HY, Li ZH, Zhan GP. 2019. Predicting the potential geographical distribution of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) based on MaxEnt. *Plant Quarantine*, 33(5): 73–78 (in Chinese) [宋子骄, 秦誉嘉, 马福欢, 李秉然, 卢国彩, 孙宏禹, 李志红, 詹国平. 2019. 基于MaxEnt的木瓜秀粉蚧适生性分析. *植物检疫*, 33(5): 73–78]
- Wang YR, Liang X, Wu CL, Chen Q, Zhao HP. 2018. Activity variations of protective enzymes in *Paracoccus marginatus* after fed different cassava cultivars. *Biotechnology Bulletin*, 34(6): 115–119 (in Chinese) [王亚茹, 梁晓, 伍春玲, 陈青, 赵惠萍. 2018. 木瓜秀粉蚧取食不同木薯品种后体内保护酶活性差异分析. *生物技术通报*, 34(6): 115–119]
- Wei P, Qin YJ, Wang ZY, Zhao SQ, Li ZH. 2022. Prediction of the potential geographical distribution of western corn rootworm *Diabrotica virgifera virgifera* in China under climate change based on MaxEnt model. *Journal of Plant Protection*, 49(5): 1400–1410 (in Chinese) [魏鹏, 秦誉嘉, 王振营, 赵守歧, 李志红. 2022. 基于MaxEnt模型预测气候变化下玉米根茎叶甲在中国的潜在地理分布. *植物保护学报*, 49(5): 1400–1410]
- Wu FZ, Liu ZH, Shen H, Yu F, Ma J, Hu XN, Zeng L. 2014. Morphological and molecular identification of *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Yunnan, China. *Florida Entomologist*, 97(4): 1469–1473
- Wu SJ, Zhu TH, Qiao TM. 2021. Projections of Yunnan pine moth *Dendrolimus houi* in Sichuan Province under future climate change based on species distribution model. *Journal of Plant Protection*, 48(4): 882–890 (in Chinese) [吴思俊, 朱天辉, 谯天敏. 2021. 基于物种分布模型对未来气候变化下云南松毛虫在四川省适生区的预测. *植物保护学报*, 48(4): 882–890]
- Zhang JT, Wu SA. 2015. A new invasive mealybug, *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae), in mainland China. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 441–447 (in Chinese) [张江涛, 武三安. 2015. 中国大陆一新入侵种: 木瓜秀粉蚧. *环境昆虫学报*, 37(2): 441–447]
- Zhou YT, Ge XZ, Liu J, Zou Y, Guo SW, Wang T, Zong SX. 2022. Climate change effects on the global distribution and range shifts of citrus longhorned beetle *Anoplophora chinensis*. *Journal of Applied Entomology*, 146(5): 473–485

(责任编辑:王璇)