

# 入侵昆虫西花蓟马的潜在适生区分析

程俊峰, 万方浩\* 郭建英

(农业部外来入侵生物预防与控制研究中心, 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100081)

**摘要:** 本文在分析西花蓟马生物学特性及其世界分布的基础上, 采用 CLIMEX 软件及提供的气候匹配性分析和位置比较分析两种分析模型, 结合我国 634 个气象站点的数据, 预测西花蓟马在我国的潜在分布区。结果表明, 西花蓟马在生态气候指数  $EI \geq 3$  的地区爆发危害风险性较大。西花蓟马在我国的广东、海南、安徽、福建、江苏、山东、广西、贵州、河南、湖北、陕西、四川、云南、重庆等省市具有广泛的适生区; 其适宜生存的北界分布在中国年平均温度  $10^\circ\text{C}$  等温线、1 月份平均温度  $-8^\circ\text{C}$  等温线以及年平均极端最低温度  $-20^\circ\text{C}$  等温线附近; 而新疆、青海、西藏、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古等省或自治区为不适应生存区。

**关键词:** 西花蓟马; 生物入侵; 适生区; 气候匹配; 位置比较

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)03-0438-09

## Analysis of potential distribution of the invaded insect *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China

CHENG Jun-Feng, WAN Fang-Hao\*, GUO Jian-Ying (Center for Management of Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the information of daily climatic records of 634 stations in China and the biological characteristics and distributions of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in the world, the potential distribution areas of *F. occidentalis* in China were analyzed with the models of Match Climates and Compare Locations of the software CLIMEX. The results showed that *F. occidentalis* could prevail in Guangdong, Hainan, Anhui, Fujian, Jiangsu, Shandong, Guangxi, Guizhou, He'nan, Hubei, Shaanxi, Sichuan and Yunnan provinces and Chongqing city, but was unable to survive in Xinjiang, Qinghai, Tibet, Heilongjiang, Jilin, Liaoning, and Inner Mongolia provinces or autonomous regions in the northeast and northwest of China. The north limit of its distribution in China was located along the joining line of such cities as Weihai, Yantai, Ji'nan, Dezhou, Xingtai, Yuncheng, Xi'an, Baoji and Tianshui, where the annual average temperature is  $10^\circ\text{C}$ , the average temperature in January  $-8^\circ\text{C}$ , and the annual extremely lowest temperature  $-20^\circ\text{C}$ .

**Key words:** *Frankliniella occidentalis*; biological invasion; suitable distribution area; climate matching; location comparison

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande), 又称苜蓿蓟马, 是世界性的重要害虫, 可寄生 66 科的 200 多种植物(杜宇等, 2001), 而且其寄主范围还在不断的增加, 并存在寄主转移现象(Yudin *et al.*, 1986), 尤其对经济作物如蔬菜、花卉、果树、棉花等危害严重(Brodsgaard, 1994; 吴青君等, 2005), 被许多国家列为重要的检疫对象。自 20 世纪 70 年代以来, 该虫在世界范围内迅速传播扩散, 对许多国家的

农作物生产造成了严重的经济损失(Brodsgaard, 1993; Gaum *et al.*, 1994), 如 1985 年该虫引起哥伦比亚温室黄瓜减产达 20% (陈艳和张晓燕, 2002)。此外, 西花蓟马还是番茄斑点萎蔫病毒(TSWV)的主要传播媒介, 这种病毒的传播曾在夏威夷导致苜蓿严重减产达 50%~90% (Yudin *et al.*, 1986)。

CLIMEX 软件是基于 Maywald 和 Sutherst 组建的动态模拟模型(Maywald and Sutherst, 1991)构建的,

基金项目: 国家重点基础研究发展规划“973”项目(2002CB111400); 科技基础性工作和社会公益研究专项(2003DIB3J108)

作者简介: 程俊峰, 男, 1981 年生, 硕士, 主要从事外来入侵生物风险评估

\* 通讯作者 Author for correspondence, Tel./Fax: 010-68975297; E-mail: wanfangh@public3.bta.net.cn

收稿日期 Received: 2005-10-25; 接受日期 Accepted: 2006-02-28

经实践检验该模型具有较高的准确性。其模型组建基于两个假设：第一，气候是影响物种分布的主要因素；第二，将物种生命周期分为两个时期，即适合其种群增长时期和不适合甚至危及其生存的时期（宋红敏等，2004）。目前，CLIMEX 已经用于几十种有害生物和生防作用物的适生区研究，所使用方法主要有 4 种：第一种，在物种生理数据充分而地理分布数据相对缺乏的情况下所使用的生理参数直接输入法；第二种，在地理分布数据充分而生理数据相对缺乏的情况下采用地理分布调试修正法（Yonow *et al.*，2004）；第三种，在地理分布数据和生理数据都比较充分的条件下，采用两者结合的方法（Scott，1997），这是利用最广泛也较为准确的方法，本文采用此方法预测了西花蓟马在中国的潜在分布区；第四种，气候匹配分析法（Pethybridge *et al.*，2003），本文使用此方法预测了西花蓟马的越冬北界和部分发生区。此外，可以根据实际情况对模型进行补充性修改，如 CLIMEX 预测值只考虑了气候因子，因此可将其他因子考虑进来从而对预测结果进行修正（梁宏斌等，1999）。

我国于 2003 年 9 月在北京温室内发现西花蓟马，说明其已入侵我国（张友军等，2003；刘宁等，2005），但其在我国的分布尚未见详细的调查报告。因此，有必要通过适生性分析对西花蓟马在我国的可能分布区域进行预测，以便采取预防措施应对其入侵，减轻其危害。本文采用 CLIMEX 模型，在综合分析西花蓟马的生物学、生态学特性等资料的基础上，预测其在我国的潜在分布区。由于数据来源的限制，台湾和港澳地区未纳入本文分析和预测范围。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

**1.1.1 生物学及分布数据的收集与分析：**通过 Agricola、Biological and Agricultural Index、CAB Abstracts 等数据库收集数据，获取了使用 CLIMEX 软件分析西花蓟马适生性所需要的大部分参数：成虫越冬忍受的极端最低温度为  $-20.8^{\circ}\text{C}$ （McDonald *et al.*，1997）；发育起点温度为  $10^{\circ}\text{C}$ ，最适发育温度  $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，发育最高温度  $35^{\circ}\text{C}$ ；限制性最低发育相对湿度（RH）20%，最适发育相对湿度 60%~88%，限制性最高发育相对湿度 96%；各个虫期低温发育历期数据等（Gaum *et al.*，1994；McDonald *et al.*，1998）。对这些低温条件数据进行回归分析，得到低温对西

花蓟马发育的冷胁迫开始累积点为  $-0.0105$ ，冷胁迫速率为 0.0144；热胁迫开始累积点为 35；干胁迫开始累积点为 0.2；湿胁迫开始累积点为 0.96（详见表 1）。

本文根据文献资料记录及《EPP0 世界检疫性昆虫名录》中公布的西花蓟马在北美洲及澳大利亚的田间恒久种群分布数据，明确了西花蓟马在北美的越冬北界为宾夕法尼亚州（费城）（Brodsgaard，1993；Raisa and Orna，2002），原产地是加利福尼亚州（萨克拉门托一带）（Brodsgaard，1993；Gerin *et al.*，1994），严重发生地位于佛罗里达州中北部（坦帕）（Waterhouse and Norris，1989），以此作为本文分析的参照点。

**1.1.2 气候数据的收集与整理：**从国家气象局以及国家动植物检疫实验室获取了 1951~2000 年全国 634 个气象站点（未包括台湾和港澳地区）的数据，并根据 CLIMEX 气象数据库数据的格式要求，将这 634 个站点的气象数据整理为月平均最高气温、月平均最低气温、月平均降雨和月平均相对湿度，用于本文分析。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 CLIMEX 软件：**CLIMEX 软件由澳大利亚热带害虫管理研究中心联合科学与工业研究组织（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization）于 1999 年开发，用于预测物种的潜在适生区。本研究使用的是 1.1 版本（由参加“农林危险生物入侵机理与控制基础研究”项目的中山大学协作组提供）。

CLIMEX 模型参数包括 3 大类，即增长指数（GI）、胁迫指数（SI）和交互胁迫指数（SX）。其中增长指数包括温度指数（TI）、湿度指数（MI）和光照指数（LI）；胁迫指数包括冷胁迫指数（CS）、热胁迫指数（HS）、干胁迫指数（DS）和湿胁迫指数（WS）；交互胁迫指数包括湿-热交互胁迫指数（HWX）、干-热交互胁迫指数（HDX）、湿-冷交互胁迫指数（CWX）和干-冷交互胁迫指数（CDX）。

CLIMEX 模型可根据增长指数计算出某物种的种群增长指数，然后再综合胁迫指数、交互胁迫指数和限制条件（滞育和有效积温），即可得到生态气候指数（EI）。模型即以生态气候指数作为衡量尺度来预测不同地点的气候条件对该物种的适宜程度，EI 值的大小范围为 0~100，EI=0 表示该地点不适合该物种生存；EI>0 表示该物种能够在该地点生存；EI 值越大则适宜度越高。生态气候指数的计

算公式如下：

$$EI = 100 \left( \sum_{t=1}^{52} GI \right) / 52 \times SI \times SX$$

其中： $t$  表示周， $t = 1, 2, 3, \dots, 52$  分别表示一年中的 1~52 周；

$$SI = (1 - CS) (1 - DS) (1 - HS) (1 - WS) ;$$

$$SX = (1 - CDX) (1 - CWX) (1 - HDX) (1 - HWX) .$$

**1.2.2 扩充 CLIMEX 的气候数据库：**CLIMEX 软件自带的气象数据仅涉及我国的 85 个气象站点，且边远地区气象站点分布较少。为了增加分析的准确性，在 CLIMEX 气候数据库中将中国气象站点从 85 个增加到 634 个。首先根据 CLIMEX 气象数据库的格式要求整理各补充气象站点的数据，然后利用 CLIMEX 气象数据导入功能即可扩充 CLIMEX 气象数据库（参见上文 1.1.2 节）。

**1.2.3 气候匹配分析方法：**首先确定合适的参考地点和合适的相似系数，然后根据月最高平均温度、月最低平均温度、月平均降雨量、降雨模式、月平均相对湿度等因子计算出被预测地点和参考地点的相似程度，并与相似系数比较，从而预测出物种潜在的适生区。

**气候匹配参考地点的选择：**本文选择美国的费城（宾州）、萨克拉门托（加州）和坦帕（佛州）作为气候匹配参考地点。选择的理由包括：一方面，这三个地点在美国地理位置相差较远，气候相似性分析表明这三个地点气候有较大差异；另一方面，这三个地点还分别是西花蓟马的越冬北界、原产地和严重发生地。

**相似系数的设定：**按 CLIMEX 系统默认，如果某两个地点相似系数大于等于 0.8，则判定这两个地点的气候一致；大于等于 0.5 而小于 0.8，判定两地点气候相似；大于等于 0.3 而小于 0.5，判定两地点气候有较大差异；小于 0.3，判定两地点气候无相似性。CLIMEX 系统默认的判定两个地点气候相似的最小相似系数为 0.5。

本文设定两地点气候相似的相似系数为 0.62，这一方面是因为在一定范围内相似系数定得越高，则相似性分析越准确；另一方面是为了保证相似性分析的唯一性，即分析地点不能同时与两个或两个以上气候有差异的参考地点相似。

**1.2.4 位置比较分析方法：**利用一些生物学参数预测物种在其已知分布地区的可能分布，然后根据实际分布调试修正参数，最后用调试修正的参数

预测物种在未知地区的潜在分布区，并根据计算出的生态气候指数（EI）值，判定该物种在该地区的适宜程度。

**初始参数值的确定：**本文预测西花蓟马分布所用的 17 个参数见表 1。初始参数值主要根据西花蓟马生物学数据确定（见上文 1.1.1 节），其中有 3 个初始参数值（热胁迫累积速率，干胁迫累积速率，湿胁迫累积速率）根据现有文献资料未能确定，但可通过调试参数获得。

**参数值的调试：**把初始参数输入到 CLIMEX 程序并运行，预测西花蓟马在北美的分布，但与其实际分布有较大差异，因此有必要对各初始参数进行调试，以使西花蓟马在北美的预测分布与实际分布尽可能一致。通过调试冷胁迫参数和干胁迫参数，使西花蓟马越冬北界分布在宾夕法尼亚州，此时  $TTCS = 0.5$ ， $THCS = 0.002$ ， $HDS = 0.0001$ （表 1）。由于西花蓟马分布南界在佛罗里达州中北部，因此通过调试热胁迫参数和湿胁迫参数，尽量降低西花蓟马在佛罗里达州南部的 EI 值，此时  $TTHS = 33$ ， $THHS = 0.003$ ， $SMWS = 1.3$ ， $HWS = 0.006$ （表 1）。

**参数值的修正：**利用调试后的参数对西花蓟马在澳大利亚的分布进行预测，结果表明西花蓟马能够在澳大利亚 Northern Territory 州的 Darwin、Maningrida、Gove、Angurugu 等地生存，这与 EPPO 和澳大利亚研究机构公布的西花蓟马在澳大利亚的实际分布不符，因此对参数进行了进一步修正，此时  $DV3 = 31$ ， $TTHS = 31$ ， $THHS = 0.0038$ （表 1）。

**生态气候指数（EI）值的划分：**利用修正后的参数预测西花蓟马在北美的分布，结果表明其在坦帕（西花蓟马严重发生地）的 EI 值 = 15，在萨克拉门托（西花蓟马原产地）的 EI 值 = 3。因此，本文将 EI 值做如下划分：当西花蓟马在某地点  $EI \geq 15$  时，判定该地点为其最适适生区， $3 \leq EI < 15$  为适生区， $0 < EI < 3$  则为半适生区， $EI = 0$  则为非适生区。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候匹配分析结果

根据相似系数 > 0.62 的标准，在中国与费城气候相似的地点有 29 个（图 1），分属河南、山东、陕西、甘肃等 10 个省（表 2）。这 29 个地点基本适合西花蓟马在田间周年发生，由此可得到西花蓟马自然越冬北界分布在成山头、威海、烟台、潍坊、定陶、安阳、运城、西安、汉中和天水一线。

表 1 预测西花蓟马在中国潜在适生区的 CLIMEX 相关参数

Table 1 CLIMEX parameters for predicting potential distribution areas of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China

参数 Parameters	初始参数值 Initial value	调试后参数值 Debugged value	修正后参数值 Modified value
发育起点温度 (DV0)	10	10	10
适宜温度下限 (DV1)	25	27	27
适宜温度上限 (DV2)	35	30	30
限制性高温 (DV3)	40	33	31
有效发育积温 (PDD)	264	264	264
限制性最低湿度 (SM0)	0.2	0.2	0.2
适宜湿度下限 (SM1)	0.6	0.6	0.6
适宜湿度上限 (SM2)	0.88	0.88	0.88
限制性最高湿度 (SM3)	0.96	0.96	0.96
冷胁迫开始累积点 (TTCS)	-0.0105	0.5	0.5
冷胁迫累积速率 (THCS)	0.0144	0.002	0.002
热胁迫开始累积点 (TTHS)	35	33	31
热胁迫累积速率 (THHS)	未知 Unknown	0.003	0.0038
干胁迫开始累积点 (SMDS)	0.2	0.2	0.2
干胁迫累积速率 (HDS)	未知 Unknown	0.0001	0.0001
湿胁迫开始累积点 (SMWS)	0.96	1.3	1.3
湿胁迫累积速率 (HWS)	未知 Unknown	0.006	0.006

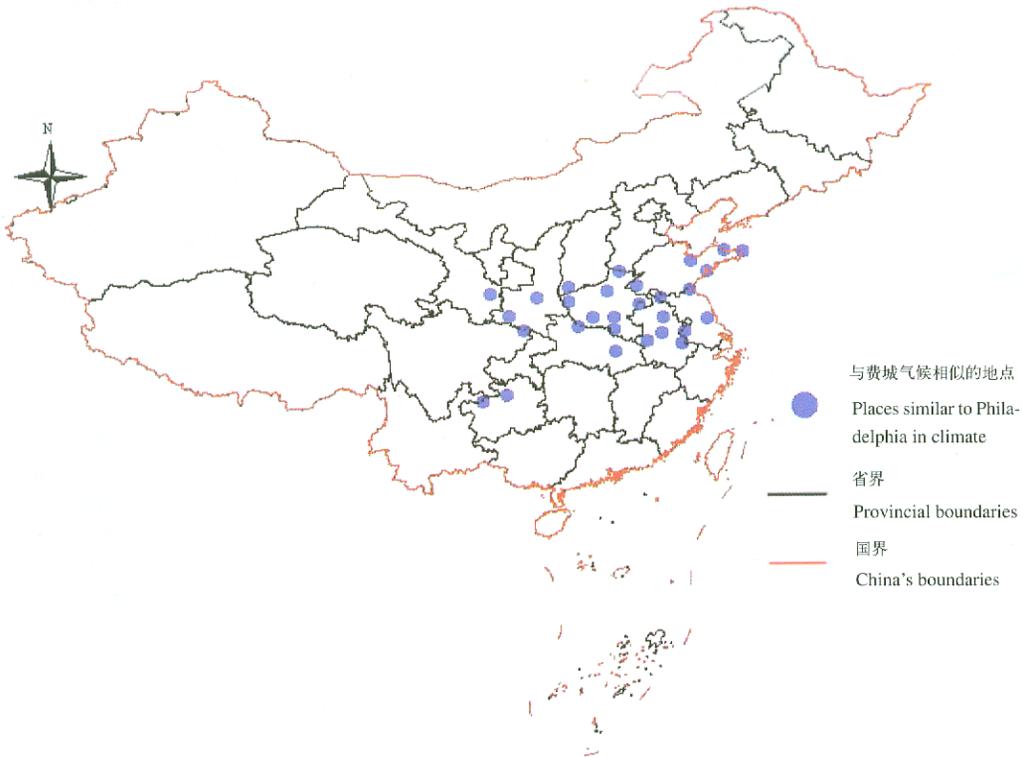


图 1 与美国费城气候相似的中国地点分布图

Fig. 1 Locations in China matched with similar climates to Philadelphia, USA

地图来源: 底图下载于国家基础地理信息系统 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>), 1:4 000 000; 下同。

Base map is downloaded from <http://nfgis.nsd.gov.cn/> with the scale of 1:4 000 000; the same for the following figures.

根据相似系数 > 0.62 的标准, 在中国与坦帕相似的地点有 21 个 (图 2, 表 2), 因此推断在我国西花

蓟马严重发生区主要分布在四川、云南、广西、广东、福建和海南 6 个省中的 21 个县市。

表 2 与美国费城、坦帕气候相似的中国气象站点

Table 2 Chinese weather stations with similar climates to Philadelphia and Tampa, USA

省、直辖市、自治区 Prov., Mun., AR*	与费城气候相似程度大于 0.62 的地点 Locations of similar coefficient > 0.62 with Philadelphia's climate	与坦帕气候相似程度大于 0.62 的地点 Locations of similar coefficient > 0.62 with Tampa's climate
山东 Shandong	成山头 Chengshantou、烟台 Yantai、青岛 Qingdao、定陶 Dingtao、潍坊 Weifang	无 None
河南 He'nan	安阳 Anyang、郑州 Zhengzhou、卢氏 Lushi、南阳 Nanyang、信阳 Xinyang、驻马店 Zhumadian	无 None
山西 Shanxi	运城 Yuncheng	无 None
陕西 Shaanxi	汉中 Hanzhong、西安 Xi'an	无 None
甘肃 Gansu	天水 Tianshui	无 None
四川 Sichuan	万源 Wanyuan	宜宾 Yibin
贵州 Guizhou	毕节 Bijie、遵义 Zunyi	无 None
安徽 Anhui	合肥 Hefei、亳州 Bozhou、蚌埠 Bengbu、芜湖 Wuhu、霍山 Huoshan	无 None
江苏 Jiangsu	南京 Nanjing、赣榆 Ganyu、东台 Dongtai、徐州 Xuzhou	无 None
湖北 Hubei	武汉 Wuhan、老河口 Laohekou	无 None
福建 Fujian	无 None	厦门 Xiamen、福州 Fuzhou
广东 Guangdong	无 None	广州 Guangzhou、湛江 Zhanjiang、汕头 Shantou、汕尾 Shanwei、韶关 Shaoguan
广西 Guangxi	无 None	南宁 Nanning、龙州 Longzhou、百色 Baise、河池 Hechi、梧州 Wuzhou、钦州 Qinzhou、桂平 Guiping
海南 Hainan	无 None	东方 Dongfang、海口 Haikou
云南 Yunnan	无 None	蒙自 Mengzi、澜沧 Lancang、临沧 Lincang、思茅 Simao
合计 Total	29	21

\*: Prov. = Province; Mun. = Municipality; AR = Autonomous Region. The same for Table 3.



图 2 与美国坦帕气候相似的中国地点分布图

Fig. 2 Locations in China matched with similar climates to Tampa, USA

## 2.2 位置比较分析

2.2.3 位置比较分析结果:利用修正后的参数值对西花蓟马在中国的潜在分布区进行预测,结果表明西花蓟马在中国有非常广泛的适生区,覆盖了 22

个省、市、自治区和直辖市(图 3)。根据各地 EI 值可将其分为最适宜区、适宜区、半适宜区和非适宜区 4 个部分(表 3),其中非适宜区包括东北和西北广大地区,表中不再列出。

表 3 西花蓟马在中国的潜在适生区

Table 3 Potential distribution areas of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China

省、直辖市、 自治区 Prov., Mun., AR	最适宜区 Most suitable area (EI 0.1 - 2.9)	适宜区 Suitable area (EI 3.0 - 14.9)	半适宜区 Semi-suitable area (EI ≥ 15.0)
安徽 Anhui		合肥 Hefei、寿县 Shouxian、蚌埠 Bengbu、阜阳 Fuyang、砀山 Dangshan、滁县 Chuxian、宿县 Suxian、亳州 Bozhou	巢湖 Chaohu、芜湖 Wuhu
福建 Fujian		崇武 Chongwu、东山 Dongshan、平潭 Pingtan、浦城 Pucheng、厦门 Xiamen、龙岩 Longyan、福州 Fuzhou、建阳 Jianyang	长汀 Changting、建瓯 Jian'ou、漳州 Zhangzhou、上杭 Shanghang、永安 Yong'an、邵武 Shaowu、南平 Nanping、泰宁 Taining、福鼎 Fuding、台山 Taishan
甘肃 Gansu		天水 Tianshui	武都 Wudu
广东 Guangdong		南澳 Nan'ao、电白 Dianbai、汕头 Shantou、湛江 Zhanjiang、惠来 Huilai、汕尾 Shanwei、深圳 Shenzhen	惠阳 Huiyang、连平 Lianping、五华 Wuhua、广州 Guangzhou、台山 Taishan、连县 Lianxian、南雄 Nanxiong、广宁 Guangning、高要 Gaoyao、韶关 Shaoguan、上川岛 Shangchuandao、河源 Heyuan、佛岗 Fogang、徐闻 Xuwen、梅县 Meixian、信宜 Xinyi、阳江 Yangjiang
广西 Guangxi	涠洲岛 Wei zhoudao	那坡 Napo、靖西 Jingxi、北海 Beihai、风山 Fengshan、河池 Hechi、都安 Du'an、灵山 Lingshan、南宁 Nanning、平果 Pingguo	蒙山 Mengshan、来宾 Laibin、贺县 Hexian、柳州 Liuzhou、玉林 Yulin、桂平 Guiping、钦州 Qinzhou、融安 Rong'an
贵州 Guizhou		望谟 Wangmo、罗甸 Luodian、兴义 Xingyi、毕节 Bijie、贵阳 Guiyang、盘县 Panxian、遵义 Zunyi、桐梓 Tongxin、黔西 Qianxi、榕江 Rongjiang、思南 Sinan	安顺 Anshun、威宁 Weining、湄潭 Meitan、凯里 Kaili、铜仁 Tongren、习水 Xishui
海南 Hainan		西沙 Xisha、珊瑚岛 Shanhudao	陵水 Lingshui、三亚 Sanya、东方 Dongfang、海口 Haikou、琼海 Qionghai
河北 Hebei			邢台 Xingtai
河南 Henan		南阳 Nanyang、信阳 Xinyang、商丘 Shangqiu、孟津 Mengjin、开封 Kaifeng、许昌 Xuchang、西峡 Xixia、宝丰 Baofeng、洛阳 Luoyang、三门峡 Sanmenxia、郑州 Zhengzhou、驻马店 Zhumadian、新乡 Xinxiang、西华 Xihua、安阳 Anyang、栾川 Luanchuan	卢氏 Lushi、固始 Gushi
湖北 Hubei	老河口 Lao hekou、枣阳 Zaoyang、房县 Fangxian、陨 县 Yunxian	广水 Guangshui、钟祥 Zhongxiang、巴东 Badong、宜昌 Yichang	麻城 Macheng、鄂西 E'xi、来风 Laifeng、五峰 Wufeng、荆州 Jingzhou、天门 Tianmen
湖南 Hunan		道县 Daoxian、衡阳 Hengyang、双峰 Shuangfeng	芷江 Zhijiang
江苏 Jiangsu		淮阴 Huaiyin、盱眙 Xuyi、高邮 Gaoyou、射阳 Sheyang、赣榆 Ganyu、东台 Dongtai、徐州 Xuzhou、南京 Nanjing	南通 Nantong
江西 Jiangxi		西昌 Xichang、寻鸟 Xunniao	赣州 Ganzhou、吉安 Ji'an、玉山 Yushan、南昌 Nanchang、贵溪 Guixi、樟树 Zhangshu、广昌 Guangchang、波阳 Boyang
山东 Shandong		烟台 Yantai、青岛 Qingdao、威海 Weihai、日照 Rizhao、菏泽 Heze、临沂 Linyi、成山头 Chengshantou、石岛 Shidao、济南 Jinan	海阳 Haiyang、龙口 Longkou、德州 Dezhou、羊角沟 Yangjiaogou
山西 Shanxi			运城 Yuncheng
陕西 Shaanxi	镇安 Zhen'an	石泉 Shiquan、汉中 Hanzhong、尚州 Shangzhou、宝鸡 Baoji、安康 Ankang、略阳 Lueyang、武功 Wugong、佛坪 Foping、西安 Xi'an	

续表 3 Table 3 continued

省、直辖市、 自治区 Prov., Mun., AR	最适宜区 Most suitable area (EI 0.1 - 2.9)	适宜区 Suitable area (EI 3.0 - 14.9)	半适宜区 Semi-suitable area (EI ≥ 15.0)	
上海 Shanghai			龙华 Longhua	
四川 Sichuan		平武 Pingwu、汉源 Hanyuan、遂宁 Suining、宜宾 Yibin、成都 Chengdu、资阳 Ziyang、南充 Nanchong、阆中 Langzhong、绵阳 Mianyang、乐山 Leshan、小金 Xiaojin、内江 Neijiang、都江堰 Dujiangyan、巴中 Bazhong、泸州 Luzhou、巴塘 Batang、雷波 Leibo、万源 Wanyuan、达县 Daxian、会理 Huili、越西 Yuexi、得荣 Derong、木里 Muli、盐源 Yanyuan		昭觉 Zhaojue、雅安 Ya'an
天津 Tianjin			塘沽 Tanggu	
云南 Yunnan	蒙自 Mengzi	文山州 Wenshanzhou、广南 Guangnan、泸水 Lushui、宜良 Yiliang、玉溪 Yuxi、保山 Baoshan、维西 Weixi、楚雄 Chuxiong、泸西 Luxi、元谋 Yuanmou、景东 Jingdong、思茅 Simao、大理 Dali、临沧 Lincang、昭通 Zhaotong、瑞丽 Ruili、腾冲 Tengchong、昆明 Kunming、沾益 Zhanyi、会泽 Huize、澜沧 Lancang、勐腊 Mengla、丽江 Lijiang	江城 Jiangcheng、屏边 Pingbian、华坪 Huaping、孟定 Mengding、贡山 Gongshan、景洪 Jinhong	
浙江 Zhejiang		龙泉 Longquan、丽水 Lishui	金华 Jinhua、衢州 Quzhou	
重庆 Chongqing		奉节 Fengjie、沙坪坝 Shapingba、涪陵 Fuling、万县 Wanxian	彭水 Pengshui、梁平 Liangping、酉阳 Youyang	
合计 Total	7	151	88	

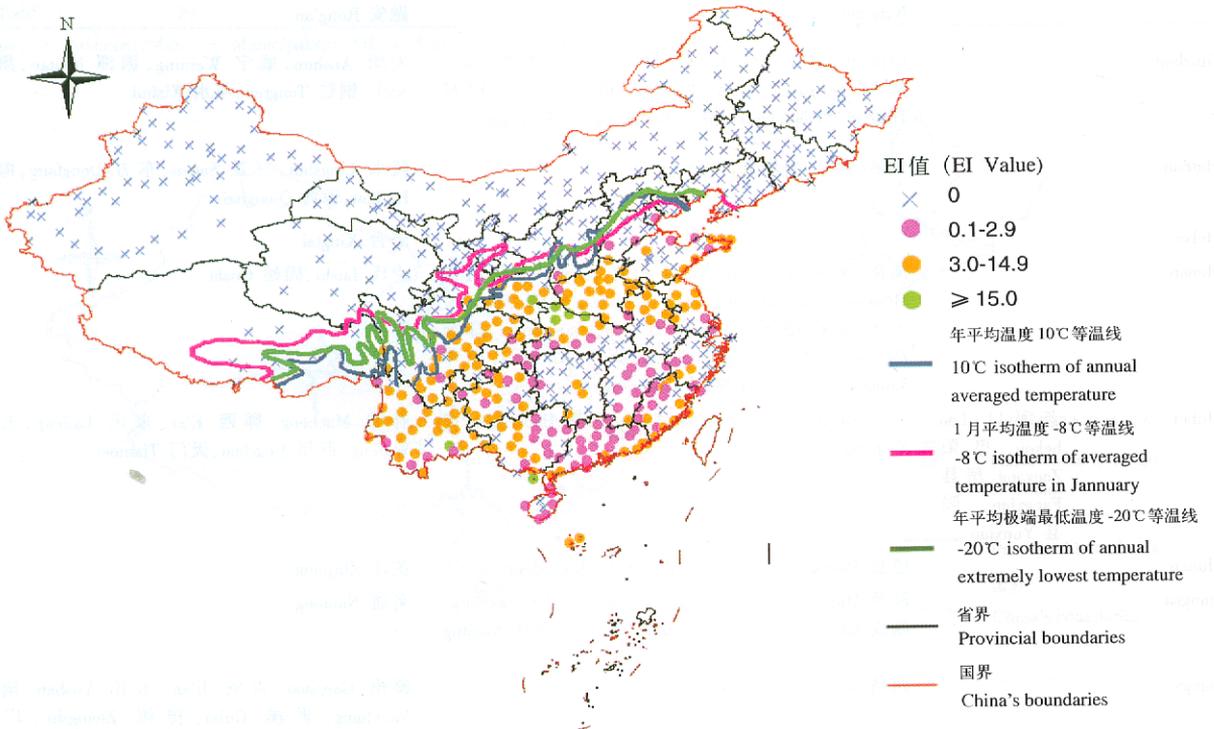


图 3 西花蓟马在中国的潜在适生区分析

Fig. 3 Potential distribution areas of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China

由图 3 可知,西花蓟马分布北界与中国年平均温度 10°C 等温线、1 月份平均温度 -8°C 等温线以及年平均极端最低温度 -20°C 等温线基本吻合,这也与西花蓟马发育起点温度为 10°C,成虫能忍受的极

端最低气温为 -20.8°C 的生物学习性相一致。此外在湖南存在大面积的非适宜区,经推测可能与这些地区降雨量大且周期长,气候潮湿闷热有关,具体原因还需进一步研究。

图 3 还表明,西花蓟马在我国的主要危害区分布在云南、陕西南部渭河流域、河南-湖北-安徽淮河流域和长江上游,而在相对湿度较大的长江中下游其适宜度则不高。这与西花蓟马的生物学特性相吻合,其最适宜温度范围为 25℃~30℃,最适宜湿度范围为 60%~88%,湿度过大则不利于西花蓟马的生长发育。因此,本文通过 CLIMEX 预测得到的西花蓟马在中国的潜在分布区结果具有较高的准确度和可靠性。

### 3 讨论

本文对西花蓟马的适生区预测预报针对其田间恒久种群而言,预测的主要是西花蓟马能够在田间常年生存的区域,并不包括温室等比较特殊的人工环境。西花蓟马是一种温室害虫,然而预测其田间恒久种群却具有实践意义。这是因为:(1)西花蓟马不仅在温室中危害,也会对田间作物尤其是水果、烟草等造成严重危害,此外西花蓟马具有一定的迁飞能力,因此具有西花蓟马田间恒久种群的地点不仅是西花蓟马传播扩散的主要源地,也是需要重点防治的地点(Brodsgaard, 1993);(2)西花蓟马在温室危害和在田间危害具有相互促进的作用,冬季西花蓟马种群由田间向温室迁移,夏季则由温室向田间迁移(Kirk and Terry, 2003),从而可常年维持种群,在田间和温室均能严重危害,因此那些有温室存在的地点将是西花蓟马最为严重的发生地。由此推测,西花蓟马的实际分布区可能要大于本文预测的分布区。

本文通过气候匹配分析和位置比较分析,对西花蓟马在我国适生区的预测结果基本一致,尤其是对越冬北界的预测,表明 CLIMEX 软件本身有很好的一致性和准确性。但是比较而言,气候匹配分析受参考地点选择的限制只能预测西花蓟马部分严重发生区,其预测范围没有位置比较分析广,结果也不如位置比较分析直观。此外,在气候匹配分析中,在我国 634 个气象站点中未找到与萨克拉门托气候相似的地点。

CLIMEX 是一个动态模拟模型,在预测物种适生区方面具有较高的准确性和应用价值,并在世界范围内被广泛应用(Maywald and Sutherst, 1991)。它能在信息量较少的基础上,作出很有价值的预测,尤其是在参数调试修正过程中,能够推测出一些该物种的未知生理数据。但是 CLIMEX 的应用也有一定

的局限性,受模型自身复杂程度的限制,通过 CLIMEX 只能预测物种的点分布,而无法获得物种在某一地点的特定时间段内的 EI 值,因此无法利用 CLIMEX 进行更为细致的区域规划和管理。此外,CLIMEX 在预测物种分布时只考虑了气候因子,而没有考虑其他因子,尤其是寄主对物种分布的影响。因此通过 CLIMEX 预测出的物种适生区与实际情况存在误差。为了使预测结果更加细腻准确,同时保持 CLIMEX 所具有的独特优势,我们还利用地理信息系统(GIS)对预测结果进行插值分析,从而可以解决点和面相互转化的问题,而且还把寄主等因素考虑进来,使得模型更加完善准确(程俊峰等, 2006)。

根据本文分析,西花蓟马在中国黄河以南具有广泛的适生区,尤其在云南、陕西南部渭河流域、河南-湖北-安徽淮河流域和长江上游四川、重庆等部分省市,西花蓟马能够常年生长发育,且种群加倍时间非常短。这些地区正是我国蔬菜、花卉、果树的主要生产种植基地,因此西花蓟马可能会在这些地区造成严重危害。但是我国北方一些地区也应该保持高度警惕,因为西花蓟马是一种温室害虫,种群加倍只需要 4 天左右的时间,因此在外环境气候不适宜的情况下,温室将同样会成为其发生、扩散、危害的决定因素。因此那些具有西花蓟马越冬场所(主要是温室),又有一定时间段适合西花蓟马田间种群生存的地点,同样可能是西花蓟马的重点发生区。

### 参考文献(References)

- Brodsgaard HF, 1993. Cold hardiness and tolerance to submergence in water in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, 22(3): 647-653.
- Brodsgaard HF, 1994. Effect of photoperiod on the bionomics of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Applied Entomology*, 117(5): 498-507.
- Chen Y, Zhang XY, 2002. Pest of *Dendrobium* and pest risk analysis. *Wuyi Science Journal*, 18: 8-14. [陈艳, 张晓燕, 2002. 石斛属植物主要害虫及其风险分析. 武夷科学, 18: 8-14]
- Cheng JF, Wan FH, Guo JY, 2006. Potential distribution of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in China by using combined CLIMEX and GIS tool. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(3): 525-529. [程俊峰, 万方浩, 郭建英, 2006. 西花蓟马在中国适生区的基于 CLIMEX 的 GIS 预测. 中国农业科学, 39(3): 525-529]
- Du Y, Yang B, Zhou LB, Cao YH, Liu ZS, Bai S, Ding YM, Chen YY, 2001. Risk assessment of quarantined pests on the seeds and seedlings of the genus *Dianthus*. *Plant Quarantine*, 15(5): 300-303. [杜宇, 杨碧, 周力兵, 曹云华, 刘忠善, 白松, 丁元明, 陈云勇, 2001. 输华石竹属种苗检疫性有害生物风险评估. 植物检疫, 15(5):

300 – 303 ]

- Gaum WG, Giliomee JH, Pringle KL, 1994. Life history and life tables of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on English cucumbers. *Bulletin of Entomological Research*, 84(2): 219 – 224.
- Gerin C, Hance T, Impe GV, Van IG, 1994. Demographical parameters of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera, Thripidae). *Journal of Applied Entomology*, 118(4–5): 370 – 377.
- Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, 5(4): 301 – 310.
- Liang HB, Zhang RZ, Zhang GX, 1999. Prediction of suitable areas for Russian wheat aphid survival in China. *Acta Entomologica Sinica*, 42 (Suppl.): 55 – 61. [梁宏斌, 张润志, 张广学, 1999. 麦双尾蚜在中国的适生区预测. *昆虫学报*, 42(增刊): 55 – 61]
- Liu N, Ren L, Zhang RZ, Zheng JQ, Wang FX, 2005. Identification of the western flower thrip (*Frankliniella occidentalis*) and its related species. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(3): 345 – 347. [刘宁, 任立, 张润志, 郑建秋, 王福祥, 2005. 西花蓟马的鉴别及其与近缘种的区别. *昆虫知识*, 42(3): 345 – 347]
- Maywald GF, Sutherst RW, 1991. User's Guide to CLIMEX: A Computer Program for Comparing Climates in Ecology (2nd edition). CSIRO. 1 – 64
- McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1998. Effect of temperature on development of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *European Journal of Entomology*, 95(2): 301 – 306.
- McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997. Low temperature mortality and overwintering of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Bulletin of Entomological Research*, 87: 5, 497 – 505.
- Pethybridge SJ, Nelson ME, Wilson CR, 2003. Forecasting climate suitability of Australian hop-growing regions for establishment of hop powdery and downy mildews. *Australasian Plant Pathology*, 32: 493 – 497.
- Raisa C, Orna U, 2002. Seasonal abundance of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in the Arava valley of Israel. *Phytoparasitica*, 30(4): 335 – 346.
- Scott JK, 1997. The distribution of arum lily and its invasive potential. In: Proceedings of a Workshop on Arum Lily *Zantedeschia aethiopica* Held at HMAS Stirling, Garden-Island, Western-Australia, Australia, 7-August-1997. 10 – 16.
- Song HM, Zhang QF, Han XM, Xu Y, Xu RM, 2004. CLIMEX: professional biological software for predicting potential distribution of species. *Entomological Knowledge*, 41(4): 379 – 387. [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 – 387]
- Waterhouse DF, Norris KR, 1989. *Frankliniella occidentalis* (Pergande). In: Biological Control Pacific Prospects – Supplement 1. Canberra: Australian Centre for International Agriculture Research. 24 – 35.
- Wu QJ, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2005. The biological character, damage and management of an invasive insect pest, *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(1): 11 – 14. [吴青君, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2005. 入侵害虫西花蓟马的生物学、危害及防治技术. *昆虫知识*, 42(1): 11 – 14]
- Yonow T, Kriticos DJ, Medd RW, 2004. The potential geographic range of *Pyrenophora semeniperda*. *Phytopathology*, 94(8): 805 – 812.
- Yudin LS, Cho JJ, Mitchell WC, 1986. Host range of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), with special reference to *Leucaena glauca*. *Environmental Entomology*, 15(6): 1 292 – 1 295.
- Zhang YJ, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR, 2003. Dangerous alien invasive species – occurrence and damages of *Frankliniella occidentalis* in Beijing. *Plant Protection*, 29(4): 58. [张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害. *植物保护*, 29(4): 58]

(责任编辑: 袁德成)