

基于 CLIMEX 的桔小实蝇在中国适生区的预测

侯柏华, 张润杰*

(中山大学生物防治国家重点实验室, 广州 510275)

摘要:桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel), 属双翅目 Diptera, 果实蝇科 Tephritidae, 主要分布在热带和亚热带地区。温度和湿度是影响桔小实蝇分布的重要气候因子。根据桔小实蝇对温湿度等气候因子的反应, 采用 CLIMEX 软件对桔小实蝇在中国大陆的适生区进行了预测。设置了 CLIMEX 中的相应参数 17 个: 发育起点温度 DV_0 、生长最适宜温度范围 $DV_1 \sim DV_2$ 、致死高温 DV_3 、有效发育积温 PDD 。生长发育所需最低土壤湿度临界 SM_0 、最适宜湿度范围 $SM_1 \sim SM_2$ 、最高土壤湿度临界 SM_3 。冷胁迫日度临界 $DTCS$ 及其积累速率 $DHCS$, 热胁迫临界温度 $TTHS$ 及其积累速率 $THHS$, 干旱胁迫临界 $SMDS$ 及其积累速率 HDS , 湿胁迫 $SMWS$ 及其积累速率 HWS 。以印度和夏威夷为已知适生分布区, 反复调试修正上述这些参数值, 使之与已知广泛分布的地区达到最大程度的吻合。然后用优化后的参数和中国大陆 85 个气象站点的气象资料模拟桔小实蝇在中国大陆的适生分布, 结果显示: 广东、海南、香港、广西、四川、云南、湖南、湖北、福建、江西、浙江等 11 个省(区)是桔小实蝇的适生分布区。主要分布在我国的华南和西南大部分地区, 以及华中和华东的部分地区。根据 CLIMEX 模拟结果的 EI 值大小, 将桔小实蝇在我国大陆的适生分布情况进一步划分为最适宜、次适宜、适宜和非适宜 4 个气候区, 即华南地区全部以及广西省全境是桔小实蝇的最适宜分布区, 除桂林($EI=17$)外, 其余气象点的 EI 值均大于 40; 西南地区的四川、云南两省及福建沿海地区是桔小实蝇的次适宜分布区, 平均 EI 值为 29.7; 适宜分布区包括湖南、湖北、江西、浙江的少数地区, 除赣州($EI=17$)外, 其余点的 EI 值均小于 10; 长江以北的广大地区是桔小实蝇的非适宜区, 这些地区不适合桔小实蝇生存。

关键词:桔小实蝇; CLIMEX 模型; 适生区; 预测; 中国

文章编号:1000-0933(2005)07-1570-06 **中图分类号:**Q968.1 **文献标识码:**A

Potential distributions of the fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China as predicted by CLIMEX

HOU Bo-Hua, ZHANG Run-Jie* (State Key Laboratory for Biocontrol, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1570~1574.

Abstract: Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), is native to tropical and subtropical zone. Temperature and moisture are the key factors determining its distribution. We used the computer model, CLIMEX to predict the fly's potential distribution in China. Seventeen variables were used and they were the lower temperature threshold (DV_0), lower optimum temperature (DV_1), upper optimum temperature (DV_2), upper temperature threshold (DV_3), length of growing season (PDD), lower soil moisture threshold (SM_0), lower optimal soil moisture (SM_1), upper optimal soil moisture (SM_2), upper soil moisture threshold (SM_3), cold stress degree-day threshold ($DTCS$) and its rate ($DHCS$), heat stress accumulation threshold ($TTHS$) and its rate ($THHS$), dry stress threshold ($SMDS$) and its rate (HDS), wet stress threshold ($SMWS$) and its rate (HWS). A starting set of parameter values was selected based on knowledge of oriental fruit fly response to climatic extremes. An iterative parameter-fitting method was used to generate a map showing ecoclimatic index (EI) at meteorological stations across India and Hawaii where the geographic distribution of oriental fruit fly is known. The EI is a

基金项目:国家“973”资助项目(2002CB111405);国家自然科学基金资助项目(30471162)

收稿日期:2004-06-18; **修订日期:**2005-04-20

作者简介:侯柏华(1975~),男,湖南郴州人,博士生,主要从事昆虫生态学研究. E-mail: houbh@sohu.com

* 通讯作者 Author of correspondence. E-mail: ls11@zsu.edu.cn

Foundation item: The National Grand Fundamental Research “973” Program of China (No. 2002CB111405); National Natural Science Foundation of China (No. 30471162)

Received date: 2004-06-18; **Accepted date:** 2005-04-20

Biography: HOU Bo-Hua, Ph. D. candidate, mainly engaged in entomological ecology. E-mail: houbh@sohu.com

measure of climatic suitability to survive of oriental fruit fly estimated by CLIMEX. The same parameters were then applied to data from China to predict the *EIs*. The potential geographic regions were divided into four categories according to the values of *EIs*, namely most suitable area, more suitable area, suitable area, and unsuitable area for oriental fruit fly. The results showed that the most suitable areas are in South China including Guangdong, Hong Kong, Hainan and Guangxi Zhuang Autonomous Region, where the values of *EIs* are over 40 except Guilin ($EI=17$). The more suitable area includes Yunnan, Sichuan, Southwest China and some part of Fujian province, where the mean value of *EIs* is 29.7. The suitable area drops in some parts of Hunan, Hubei, Jiangxi and Zhejiang provinces, where the values of *EIs* are less than 10 except Ganzhou ($EI=17$). The unsuitable area includes the northern part of Yangzi River, where the fruit fly can't occur and survive.

Key words: oriental fruit fly; *Bactrocera dorsalis* (Hendel); CLIMEX; suitable area; prediction; China

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel), 我国俗称黄苍蝇, 果蛆, 英文名又称 oriental fruit fly (东方果实蝇), 属双翅目 *Diptera*, 果实蝇科 *Tetraphitidae*, 寡毛实蝇亚科 *Dacinae*, 目前主要分布在热带和亚热带地区^[1]。桔小实蝇寄主广泛, 包括番荔枝、苹果、杨桃、香蕉、辣椒、黄皮、番石榴、芒果、柚子、木瓜、桃、李、梨、西红柿等多种植物。在自然条件下, 有关桔小实蝇及其姊妹种的野生寄主还没有完全记录, 但总的来说, 桔小实蝇是一种多食性害虫, 许多农作物是它的潜在寄主。

国际昆虫学研究所 (CAB International Institute of Entomology) 以及欧洲和地中海植物保护组织 (European and Mediterranean Plant Protection, EPPO) 对该虫在全球的分布均有描绘^[2~4], 在亚洲主要分布于孟加拉国、柬埔寨、中国 (南部, 包括香港和台湾)、印度、日本、老挝、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡、泰国 (北部)、阿拉伯联合酋长国和越南。在北美, 自从 1945 年美国夏威夷就有该虫的报道^[5]。美国加州和佛罗里达州也有发生。除此之外太平洋诸岛亦是桔小实蝇的适生区, 包括夏威夷地区, 马来亚纳群岛, 瑙鲁、法属玻利尼西亚以及日本的小笠原群岛, 琉球全岛等地。

温度是影响桔小实蝇发育的一个重要生态因子, 国外有研究认为桔小实蝇卵、幼虫及蛹的发育起点温度分别是 11.8 °C、5.6 °C 和 9.3 °C, 完成世代的有效积温为 358 日度^[6]。国内也有试验证实桔小实蝇卵、幼虫及蛹的发育起点温度分别为 12.19 °C、5.24 °C 及 10.08 °C, 有效积温分别为 19.9 日度、156.7 日度及 157.8 日度, 整个世代发育起点温度为 12.19 °C, 完成生活史 (从卵到成虫) 所需的有效积温为 334.4 日度^[7]。研究还发现在 35 °C 条件下桔小实蝇成虫不能产卵繁殖后代^[8]。

桔小实蝇主要以老熟幼虫在土中化蛹, 土壤质地和泥土中的水分含量对桔小实蝇蛹的成活率影响很大, 据观测当土壤含水量 5% 以下时蛹几乎无法生存, 当土壤含水量超过 30% 时蛹则不能羽化^[9,10]。目前尚未发现该虫有滞育现象的报道。

世界上许多国家和地区将桔小实蝇列为重要的危险性检疫对象, 桔小实蝇在我国的分布虽然有报道, 但不尽详细^[11,12]。一些学者采用若干生态因子, 应用模糊综合评判的数学方法, 探讨过该虫在我国的适生分布范围^[13]。近些年来, 国内有不少报道该虫在我国的部分地区发生并造成危害^[14~17], 为提高对该虫宏观预测的准确性和检疫决策的科学性, 笔者利用 CLIMEX 软件平台对该虫在中国大陆的适生分布范围进行了探讨。

1 方法

1.1 软件平台简介

本研究采用澳大利亚科学与工业研究组织 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO) 的科学家开发的气候模型 CLIMEX (1.1 版) 作为分析软件平台。该软件设定物种生活史在适宜的气候条件下种群生长指数 (Growth Index, *GI*) 取决于温度指数 (Temperature Index, *TI*)、湿度指数 (Moisture Index, *MI*)、光周期指数 (Light Index, *LI*)。在不适宜的条件下, 种群受逆境胁迫因子 (Stress Index, *SI*) 影响, 包括热胁迫 (Heat Stress, *HS*)、冷胁迫 (Cold Stress, *CS*)、干旱胁迫 (Dry Stress, *DS*) 和湿度胁迫 (Wet Stress, *WS*) 等因子, 同时考虑了滞育 (Diapause Index, *DI*) 和有效积温 (Length of growing season, *PDD*) 等限制条件。

一个物种能否在某地定殖由 *GI* 和 *SI* 决定, CLIMEX 用周生长指数 (Weekly Growth Index, *GI_w*) 来描述种群周生长的适合条件:

$$GI_w = TI_w \times MI_w \times LI_w \times DI_w$$

式中, TI_w , MI_w , LI_w 和 DI_w 分别表示周温度, 湿度, 光周期和滞育指数。 GI_w 平均后得到物种年生长指数 (Annual Growth Index, GI_A):

$$GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} GI_{w_i} / 52$$

式中, GI_A 表明了种群在适宜季节的增长潜力。

在逆境条件下, 存在一个逆境条件阈值, 作用的逆境速率和逆境积累阈值, 后者的值等于前两者之积。如计算物种的热胁迫

时,当环境最大温度 $T_{\max}$ 大于该物种的热胁迫临界高温 (temperature threshold of heat stress, $THHS$) 时才存在胁迫,并以一定的速率积累 (stress accumulation rate, $THHS$),用公式表示为:

$$HS = \begin{cases} (T_{\max} - THHS) \times THHS, & T_{\max} > THHS \\ 0 & T_{\max} \leq THHS \end{cases}$$

其它胁迫因子 CS, DS, HS, WS 也采用类似的算法。综合这 4 个胁迫因子得到种群在非适宜季节所受到的胁迫压力 SI , SI 为年胁迫指数 (Annual Stress Index):

$$SI = (1 - CS/100)(1 - DS/100)(1 - HS/100)(1 - WS/100)$$

在考虑这些因子的互作时,采用胁迫因子互作指数 (Stress Interaction Index, SX) 表示:

$$SX = (1 - CDX/100)(1 - CWX/100)(1 - HDX/100)(1 - HWX/100)$$

最后,综合种群增长指数和胁迫压力指数得到生态气候指数 (Ecoclimatic Index, EI):

$$EI = GI_A \times SI \times SX$$

EI 大小范围为 0~100,其值大小反映适合度大小, $EI > 0$,表示该地点适合物种生存, $EI = 0$,则不能生存^[18]。

1.2 分析方法

根据桔小实蝇上述背景资料以及模型使用指南提供的参考数值为起始数据^[18],初步确定 CLIMEX 所要求的各项参数,然后根据 EPPO 在 2003 年发布的该虫在全球分布数据^[4],选定其广泛分布的地区 (印度和夏威夷) 为参照点,反复调试这些参数,使桔小实蝇在这些地方的分布范围与实际情况达到最大程度的吻合,最后根据修正后的参数运行 CLIMEX 预测桔小实蝇在中国大陆可能的分布范围。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇气候适应参数

通过 CLIMEX 反复模拟调试后得到桔小实蝇的气候适应性参数 (表 1)。预测主要使用 17 个参数,分别为:发育起点温度 DV_0 、生长最适宜温度范围 $DV_1 \sim DV_2$ 、发育上限温度 DV_3 、有效发育积温 PDD ;生长发育所需最低土壤湿度临界 SM_0 、最适宜湿度范围 $SM_1 \sim SM_2$ 、最高土壤湿度临界 SM_3 ;冷胁迫日度临界 $DTCS$ 及其积累速率 $DHCS$;热胁迫临界温度 $THHS$ 及其积累速率 $THHS$ 、干旱胁迫临界 $SMDS$ 及其积累速率 HDS ;湿胁迫 $SMWS$ 及其积累速率 HWS ,这里没有考虑滞育 (DI) 和胁迫因子的互作 (SX)。上述参数客观地反映了桔小实蝇对气候条件的需求特征和对气候逆境条件的忍耐程度。

表 1 预测桔小实蝇在我国分布的 CLIMEX 相关参数

Table 1 Parameters in CLIMEX to estimate the potential distribution of *B. dorsalis* in China

CLIMEX 参数 CLIMEX parameters	原始值 Original value	修正值 Modified value
DV_0 发育起点温度 Lower temperature threshold	11.8 ^[6]	11.8
DV_1 最适发育温度下限 Lower optimum temperature	22 ^[6]	22
DV_2 最适发育温度上限 Upper optimum temperature	29 ^[6]	29
DV_3 发育上限温度 Upper temperature threshold	35 ^[8]	35
PDD 有效积温 Minimum amount of thermal accumulation	358 ^[6]	358
SM_0 土壤湿度临界下限 Lower soil moisture threshold	0.1 ^[9]	0.1
SM_1 最适土壤湿度下限 Lower optimal soil moisture	0.5	0.5
SM_2 最适土壤湿度上限 Upper optimal soil moisture	1.75	1.75
SM_3 土壤湿度临界上限 Upper soil moisture threshold	2.0 ^[9]	2.0
$DTCS$ 冷胁迫日度临界 Cold stree degree-day threshold	22	22
$DHCS$ 冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate	0.0015	0.00025
$THHS$ 热胁迫临界温度 Heat stress accumulation threshold	35 ^[8]	35
$THHS$ 热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate	0.001	0.0002
$SMDS$ 干旱胁迫临界 Dry stress threshold	0.3	0.1
HDS 干旱胁迫速率 Dry stress rate	0.006	0.006
$SMWS$ 湿胁迫临界 Wet stress threshold	2.0	2.0
HWS 湿胁迫速率 Wet stress rate	0.002	0.002

2.2 桔小实蝇在印度和夏威夷地区的拟合结果

利用这些参数的模拟结果显示:在印度 43 个气象点中, EI 值大于 0,即能定殖的地方有 40 个,不能定殖 ($EI = 0$) 的地方是印度北部的西姆拉 Simla、大吉岭 Darjeeling 和比卡内尔 Bikaner 三地 (图 1)^[1~4]。

CLIMEX 在夏威夷选择了 9 个气象点的资料,分布在夏威夷全岛的各个地方。模拟结果显示各点的 EI 值分别是:布莱德肖 Bradshaw AAF (6)、巴伯 Barbers Point (43)、希洛 Hilo (94)、檀香山 Honolulu (65)、卡胡卢伊 Kahului (38)、卡姆艾拉 Kamuela (46)、卡内欧西 Kaneohe Bay (93)、利胡埃 Lihue (91)、惠勒 Wheeler AFB (81)。除了布莱德肖 ($EI = 6$) 外,其它各点 EI

值均大于 30,非常适合桔小实蝇定殖。

采用这些参数在印度和夏威夷的模拟结果与 CAB 以及 EPPO 所公布的桔小实蝇在这些地方具有广泛分布的情况有比较好的吻合^[2~4]。

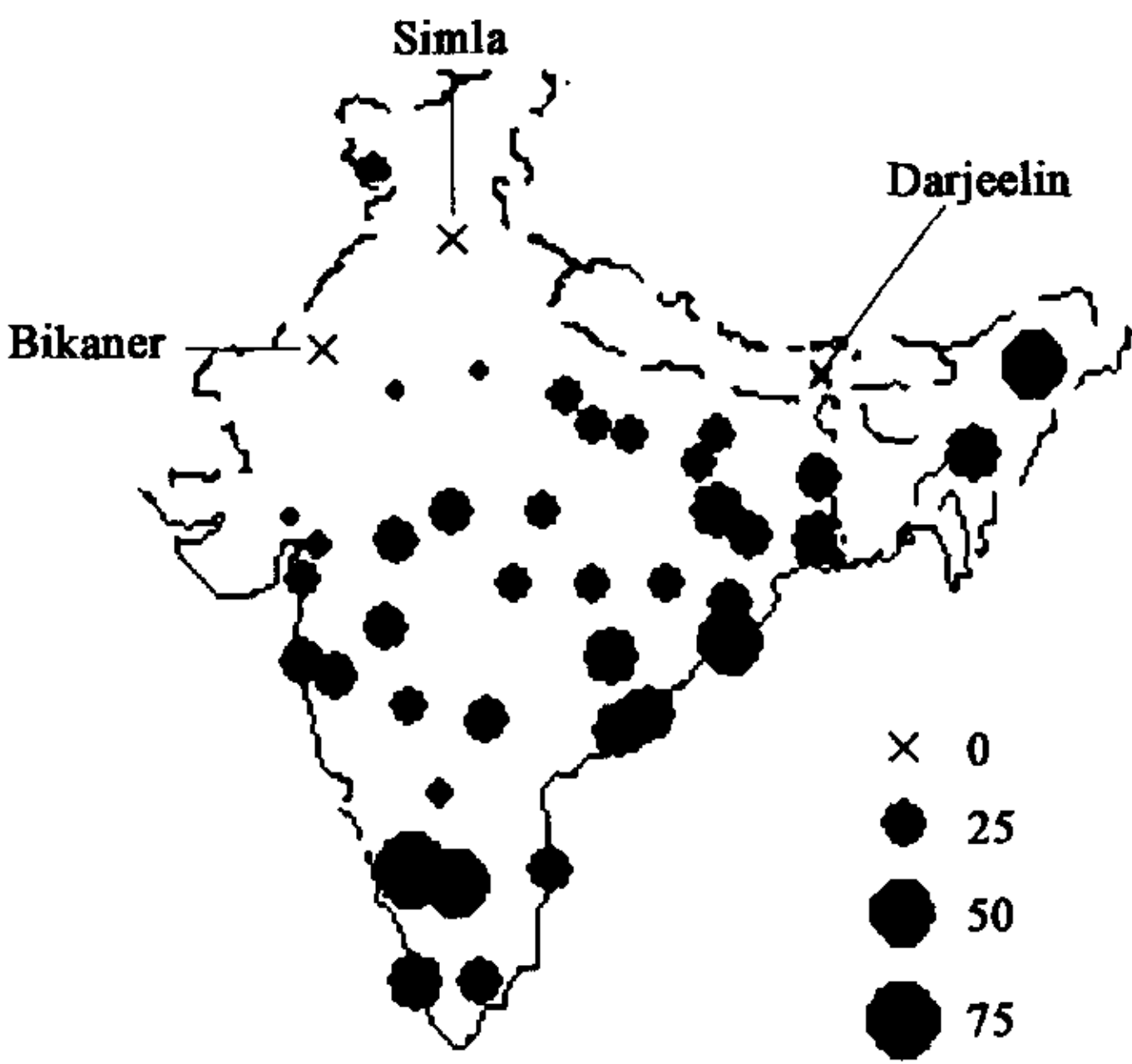


图 1 桔小实蝇在印度的 CLIMEX 分析图

Fig. 1 CLIMEX map of India

×代表 EI 值为 0;圆点代表 EI 值的大小,圆点越大表示越适合其定殖
Crosses indicate an EI of 0; larger circles represent more favorable climatic conditions

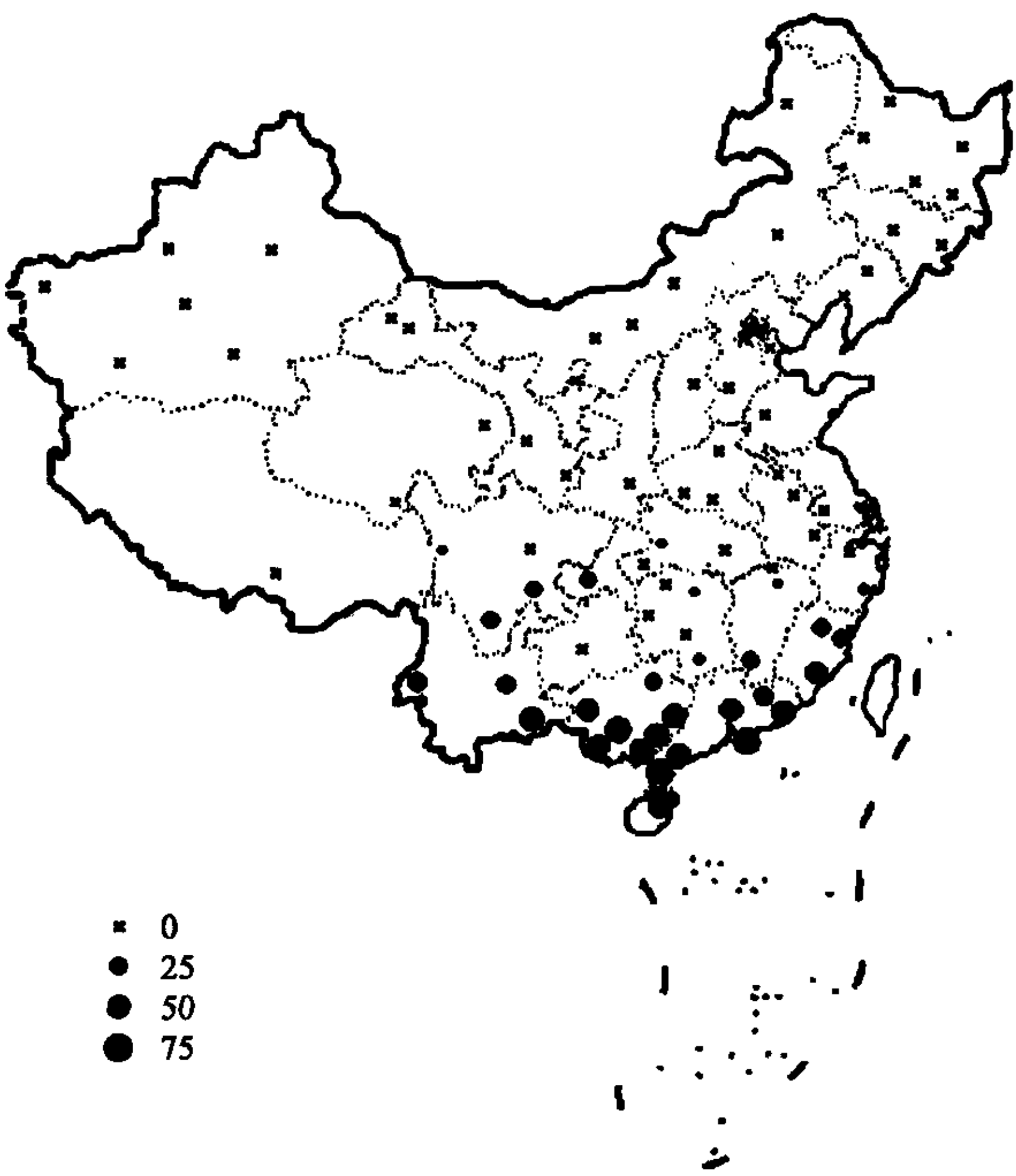


图 2 桔小实蝇在中国大陆的预测分布图

Fig. 2 CLIMEX map of China

×代表 EI 值为 0;圆点代表 EI 值的大小,圆点越大表示越适合其定殖
Crosses indicate an EI of 0; larger circles represent more favorable climatic conditions

2.3 桔小实蝇在我国的适生分布预测

在中国大陆的预测结果显示:桔小实蝇能够定殖的地方至少有 30 个(图 2,表 2),覆盖了广东、海南、香港、广西、四川、云南、湖南、湖北、福建、江西、浙江等 11 个省(区)。根据 EI 值大小,将其分布区进一步划分为最适宜、次适宜、适宜和非适宜 4 个气候区(图 2),即:

最适宜区 华南地区全部以及广西省全境是桔小实蝇最适宜分布区。CLIMEX 在该区所选择的气象点共 14 个,其中广州 5 个,广西 7 个,海南和香港各 1 个,结果表明该虫均能在这些点定殖。除桂林(EI=17)外,其它各点的 EI 值均大于 40。

次适宜分布区 西南地区的四川、云南两省以及福建沿海地区是桔小实蝇的次适宜分布区,CLIMEX 在该区共选择了 12 个点(四川 5 个,云南 3 个,福建 4 个),结果显示有 10 个点(四川 4 个,福建和云南各 3 个)适合该虫定殖,平均 EI 值为 29.7。

适宜分布区 包括湖南、湖北、江西、浙江的少数地区。除赣州(EI=17)外,其它点的 EI 值均小于 10。

非适宜分布区 包括长江以北的广大地区,我国的西北,华北,东北地区。这些地区均不适合桔小实蝇生存。

表 2 桔小实蝇在中国大陆的预测分布范围(括号内的数值代表 EI 值)

Table 2 Prediction result of *B. dorsalis* fly in China (number in bracket represents the value EI)

省份 Provinces	地点 Sites	区域 Regions
广东 Guangdong	湛江 Zhanjiang(67)、汕头 Shantou(63)、广州 Guangzhou(54)、阳江 Yangjiang(55)、梅县 Meixian(40)	华南 South China
海南 Hainan	海口 Haikou(68)	
香港 Hongkong	香港 Hongkong(68)	
广西 Guangxi	南宁 Nangning(63)、北海 Beihai(58)、梧州 Wuzhou(57)、龙州 Longzhou(55)、玉林 Yulin(51)、百色 Bose(41)、桂林 Guilin(17)	西南 Southwest China
四川 Sichuan	西昌 Xichang(37)、宜宾 Yibin(17)、重庆 Chongqing(13)、巴塘 Batang(3)	
云南 Yunnan	蒙自 Mengzi(54)、腾冲 Tengchong(26)、昆明 Kunming(24)	
湖南 Hu'nan	郴县 Chenxian(8)、长沙 Changsha(2)	华中 Central China
湖北 Hubei	宜昌 Yichang(4)	
福建 Fujian	厦门 Xiamen(61)、福州 Fuzhou(33)、南平 Nanping(29)	华东 East China
江西 Jiangxi	赣州 Ganzhou(17)、南昌 Nanchang(3)	
浙江 Zhejiang	温州 Wenzhou(8)	

研究结果表明桔小实蝇主要分布在我国南部,以及华中和华东的少数地区。该结果与 CAB 以及 EPPO 所公布的该虫主要分布在我国南部的情况是相符合的。

3 讨论

CLIMEX 应用的前提是所分析的物种分布主要由气候因素决定,它在两个方面考虑了物种-气候关系:适宜季节的种群增长和限制物种分布的胁迫因子,最后得到描述物种在预测地能否定殖的 EI 值。CLIMEX 在预测物种潜在地理分布范围过程中是一个动态的模拟模型,尤其当相关研究数据有限时,它能够根据有限的信息,做出很有价值的预测。因此其在预测物种分布方面得到了广泛应用^[19~24]。

CLIMEX 在预测过程中需要众多的参数,但并不是每次研究都要用到所有的参数,没有选定的参数可以利用系统的默认值。通过调试气候参数,根据每次调试结果分析各个参数如何影响物种的分布。通常湿度主要影响物种在海边至内陆的分布变化,温度主要影响物种在南北方向上的分布变化。分布区的变化程度则反映了物种对特定气候参数的敏感程度。调试过程中不仅需要了解物种的生物学、生态学特性及其现有分布区,相关的地理学和气象学知识则有助于高效地判断气候参数对物种分布区的影响。

由于 CLIMEX 在预测物种潜在分布时只是考虑了气候因子,而没有考虑其它因素,因此也受到不少学者的批评。有的认为 CLIMEX 预测物种分布是没有考虑物种的扩散和种间的相互作用^[25,26],也有的认为仅仅根据生物的生理耐受性来判断其分布范围是片面的^[27],同时认为物种分布要考虑生态生理条件,如地形、海拔高度、物种的栖境,而不能单凭试验室得到的数据来推论^[28]。

其它因素对物种的分布影响虽然很重要,如寄主的分布情况,种间竞争和天敌,迁飞能力等,但是每个物种都有其基础生态位,反映了物种对环境的基本要求。因此每个物种对气候条件都有具体的适用范围,许多变温动物(包括昆虫)的分布主要受气候因子制约^[29,30]。气候因子在决定物种地理分布方面的重要地位已被广泛接受,世界生物区系就是根据全球气候数据来划分的。尽管许多其它因素影响物种的分布,但根据气候因子划分的生物区系这一概念仍然是宏观生态学最成功的理论之一^[31]。

也有学者选择年均温、年降雨量、湿润系数等 7 项生态因子,以中国 29 个有代表性的站点,10a 的气象资料(1986~1996 年),应用模糊综合评判的数学方法,探讨了桔小实蝇在中国的适生分布范围。结果认为北纬 25°以南的地区包括福建、广东、广西、海南以及云南和贵州的一部分地区为桔小实蝇的最适宜分布区;四川盆地和贵州的部分地区是桔小实蝇的适宜分布区,北纬 25°以北、长江以南的地区是次适生分布区,次适宜分布区的北界是长江,包括湖南、江西、浙江以及湖北的一部分地区,其余地区是非适宜分布区^[13]。其结果与本研究利用 CLIMEX 的预测结果基本相近。只是 CLIMEX 预测结果认为桔小实蝇在贵州省没有分布,而有个别文献报道桔小实蝇在该省有比较窄的分布范围^[15],这可能与 CLIMEX 在该地选点太少有关,因为 CLIMEX 在该省只选择了贵阳一个气象点的资料。我国幅员辽阔,南北差异大,同一省(区)内各地的地形地貌和海拔高度均有较大的差异,CLIMEX 只在我国选择了 85 个点的气象资料,并且部分区域选择的气象点尚不够代表性,是造成结果比较粗糙的一个原因。增加气象点的资料,并使这些站点在我国的分布更加有代表性是我国应用 CLIMEX 需要改进和完善的地方。

CLIMEX 运行结果的 EI 值是一个相对值,反映了物种在各地分布的相对丰度,并能以图表的形式表现出来,因而结果更具体,更直观。在我国还缺乏桔小实蝇在各地的详细分布情况下,利用桔小实蝇对气象因子的反应来确定其可能分布范围是可信的,结果也是客观的。CLIMEX 模拟结果表明桔小实蝇在我国属限制性分布。这对我国采取相应的检疫措施,划定该虫的疫区和保护区有重要意义。

References:

- [1] Drew R A I. The taxonomy and distribution of tropical and subtropical Dacinae (Diptera: Tephritidae). In: Robinson A. S. ed. *World Crops Pests*, Amsterdam: Elsevier, 1989. 13~66.
- [2] IIE. *Distribution Maps of Pests, Series A No. 109* Wallingford: CAB International, 1994.
- [3] IIE. *Distribution Maps of Pests, Series A No. 553* Wallingford: CAB International, 1994.
- [4] EPPO. Insects and Mites, Map of *Bactrocera dorsalis*. http://www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Bactrocera_dorsalis/DACUDO-map.pdf, 2003.
- [5] Fullaway D T. *Dacus dorsalis* Hendel in Hawaii. *Proc. Haw. Entmol. Soc.*, 1949, **13**(3): 351~355.
- [6] Vargas R I, Walsh W A, Jang E B, et al. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 1996, **89**: 64~69.
- [7] Wu J J, Liang F, Liang G Q. The biological effect of temperature on oriental fruit fly. *Inspection and Quarantine Science*, 2003, **13**(5): 17~18.
- [8] Vargas R I, Walsh W A, Kanehisa D, et al. Comparative demography of three Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) at alternating

- temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 2000, **93** (1): 75~81.
- [9] Alyokhin A V, Mille C, Messing R H, *et al.* Selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory. *Journal of Insect Behavior*, 2001, **14** (1): 57~67.
- [10] Zhang Q Y, Lin Z J, Liu J Y, *et al.* Study on the biology of oriental fruit fly. *Entomological Journal of East China*, 1998, **7**(2): 65~68.
- [11] Institute of Zoology Academia Sinica. *Agricultural Insects of China*, Vol. II. Beijing: Agricultural Publishing House, 1987. 638.
- [12] Zhang S M, Zhao Y X. *The Geographical Distribution of Agricultural and Forest Insects in China*. Beijing: China Agriculture Press, 1996. 341.
- [13] Fan J A. Studies on the assessment of potential establishment of oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) in China with synthetic judgment on fuzzy mathematics. *Plant Quarantine*, 1998, **12**(2): 76~80.
- [14] Zhang Y A and Zhao X Q. Study on oriental fruit fly in Sichuan province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1994, **7**(2): 71~75.
- [15] Xia Z M. Kinds of plant's quarantine object and their damage in Guizhou. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1998, **26**(4): 21~23.
- [16] Lin Z J, Sun G K, Gao Q Z, *et al.* Epidemic monitoring of the oriental fruit fly in Xiamen city. *Entomological Journal of East China*, 1998, **7**(2): 69~72.
- [17] Ye H. Distribution of the oriental fruit fly (Diptera: Tetrphitidae) in Yunnan Province. *Entomologia Sinica*, 2001, **8**(2): 175~182.
- [18] Sutherst R W, Maywald G F, Yonow T, *et al.* *CLIMEX: Predicting the effects of climate on plants and animals*, Melbourne: CSIRO, 1999.
- [19] Tribe G D and Richardson D M. The European wasp *Vespula germanica* (Fabricius) (Hymenoptera: vesidae) in southern Africa and its potential distributions as predicted by ecoclimatic mapping. *African Entomology*, 1994, **2**: 1~6.
- [20] Yonow T and Sutherst R W. The geographical distribution of the Queensland fruit fly, *Bactrocera (Dacus) tryoni*, in relation to climate. *Aust. J. Agric. Res.*, 1998, **49**: 935~953.
- [21] Sutherst R W, Floyd R B, Maywald G F. The potential geographical distribution of the cane toad, *Bufo marinus* L. in Australia. *Conserv. Biol.*, 1996, **10**: 294~299.
- [22] MacLeod A, Evans H F, Baker R H A. An analysis of pest risk from an Asian longhorn beetle (*Anoplophora glabripennis*) to hardwood trees in the European community. *Crop Protection*, 2002, **21**: 635~645.
- [23] Liang H B, Zhang R Z, Zhang G X. Prediction of suitable areas for Russian wheat aphid survival in China. *Acta Entomologica Sinica*, 1999, **42** (Supplement): 55~61.
- [24] Ma J, Wan F H, Guo J Y. Bioclimatic matching analysis for *Epiblema strenuana* (Lepidoptera: Tortricidae) in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, **36**(10): 1156~1162.
- [25] Davis A J, Lawton J H, Shorrocks B. Individualistic species responses invalidate simple physiological models of community dynamics under global environmental change. *J. Anim. Ecol.*, 1998, **67**: 600~612.
- [26] Davis A J, Jenkinson L S, Lawton J H. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 1998, **391**: 783~786.
- [27] Lawton J H. Small earthquakes in Chile and climate change. *Oikos*, 1998, **82**: 209~211.
- [28] Hodkinson I D. Species response to global environmental change or why ecophysiological models are important: a reply to Davis *et al.* *J. Anim. Ecol.*, 1999, **68**: 1259~1262.
- [29] Andrewartha H G and Birch L E. *The Distribution and Abundance of Animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1954.
- [30] Krebs C J. *Ecology: The Experiment Analysis of Distribution and Abundance*, 4th ed. New York: Harper and Row, 1994.
- [31] Lawton J H. Are there general laws in ecology. *Oikos*, 1999, **84**: 177~192.

参考文献:

- [7] 吴佳教, 梁帆, 梁广勤. 桔小实蝇发育速率与温度关系的研究. *检疫检验科学*, 2003, **13**(5): 17~18.
- [10] 张清源, 林振基, 刘金耀, 等. 桔小实蝇生物学特性. *华东昆虫学报*, 1998, **7**(2): 65~68.
- [11] 中国科学院动物研究所. *中国农业昆虫* (下册). 北京: 农业出版社, 1987. 638.
- [12] 张士美, 赵泳祥. *中国农林昆虫地理分布*. 北京: 中国农业出版社, 1996. 341.
- [13] 范京安. 用模糊综合评判法探讨桔小实蝇在中国的适生分布. *植物检疫*, 1998, **12**(2): 76~80.
- [14] 张禹安, 赵学谦. 四川柑桔小实蝇的调查研究. *西南农业学报*, 1994, **7**(2): 71~75.
- [15] 夏忠敏. 贵州省植物检疫对象的种类及危害. *贵州农业科学*, 1998, **26**(4): 21~23.
- [16] 林振基, 孙国坤, 高泉准, 等. 厦门地区桔小实蝇疫情监测. *华东昆虫学报*, 1998, **7**(2): 69~72.
- [23] 梁宏斌, 张润志, 张广学. 麦双尾蚜在中国的适生区预测. *昆虫学报*, 1999, **42**(增刊): 55~61.