

番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布

吕文刚¹ 邓裕亮² 李志红^{1*} 林伟³ 万方浩⁴ 王之岭⁵

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院昆虫学系, 北京 100193; 2. 西双版纳出入境检验检疫局, 云南 景洪 666100; 3. 国家质量监督检验检疫总局, 北京 100088; 4. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100081; 5. 北京市农林科学院, 北京 100097)

摘要: 番石榴果实蝇 *Bactrocera (Bactrocera) correcta* (Bezzi) 是一种寄主范围广、为害严重的水果果实害虫, 目前已入侵我国云南和台湾两省。为了明确该虫在我国的潜在地理分布, 根据其生物生态学资料及地理分布信息, 采用 CLIMEX 的地点比较模型和 DIVA-GIS 的 BIOCLIM 模型对番石榴果实蝇的适生区进行预测, 并比较了预测结果。结果表明, 预测番石榴果实蝇的潜在地理分布, 地点比较模型优于 BIOCLIM 模型; 该虫在我国的中、高适生区主要包括云南、广东、广西、海南、台湾、福建、贵州以及四川省。

关键词: 番石榴果实蝇; 潜在地理分布; CLIMEX; DIVA-GIS

A predication of potential geographical distribution of guava fruit fly, *Bactrocera (Bactrocera) correcta* (Bezzi) in China

Lü Wengang¹ Deng Yuliang² Li Zhihong^{1*} Lin Wei³ Wan Fanghao⁴ Wang Zhiling⁵

(1. Department of Entomology, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Xishuangbanna Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Jinghong 666100, Yunnan Province, China; 3. Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Beijing 100088, China; 4. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China; 5. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: The guava fruit fly, *Bactrocera (Bactrocera) correcta* (Bezzi), which has already been invaded into Yunnan and Taiwan provinces of China, is one of the most economic significant pests of fruits. The goal of this study was to predicate the potential geographical distribution of guava fruit fly in China by location model of CLIMEX and BIOCLIM model of DIVA-GIS according to the bio-ecological characteristics and current geographical distribution. Additionally, these two models and their respective predicting results were compared and analyzed. The results presented that the location model of CLIMEX was better than the BIOCLIM model of DIVA-GIS in the predication of potential geographical distribution of guava fruit fly. The high and medium suitable regions of this insect pest in China included Yunnan, Guangdong, Guangxi, Hainan, Taiwan, Fujian, Guizhou and Sichuan.

Key words: *Bactrocera (Bactrocera) correcta*; potential geographical distribution; CLIMEX; DIVA-GIS

番石榴果实蝇 *Bactrocera (Bactrocera) correcta* (Bezzi) 属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 果实蝇 属 *Bactrocera*^[1]。该虫起源于亚洲热带和亚热带地区^[2], 寄主广泛, 以热带和亚热带果蔬为主^[3], 包括

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD08A15), 国家质量监督检验检疫总局项目(2008IK231)

作者简介: 吕文刚, 男, 1983年生, 硕士研究生, 研究方向为有害生物风险分析, email: lvwgcau@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence), email: lizh@cau.edu.cn; 收稿日期: 2010-03-07

番石榴、芒果、樱桃、枣、柑橘、辣椒等30科60余种瓜果蔬菜^[4]。番石榴果实蝇成虫产卵于果皮内侧,幼虫蛀果,并引发真菌侵染,导致果实大量腐烂、脱落^[1]。在泰国及马来半岛,该虫对番石榴、莲雾和杨桃的为害非常严重^[5];在印度泰米尔纳德,番石榴果实受害率高达60%~80%,为害程度远超过桃果实蝇 *Bactrocera zonata* 和橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*^[6];1986年美国加利福尼亚州发现番石榴果实蝇,这也是西半球首次在野外捕获该虫^[1]。番石榴果实蝇主要分布在泰国、巴基斯坦、印度、缅甸、尼泊尔、斯里兰卡等国^[3],1996年报道该虫已入侵我国云南和台湾^[7]。随着国际水果贸易和国内果品流通的发展,番石榴果实蝇进一步传入和扩散的可能性加大,因此,关于其在我国的潜在地理分布研究(也称适生性分析)颇受关注。

信息和计算机科学的发展极大推动了有害生物潜在地理分布研究,诸多软件相继得到应用,如CLIMEX(目前在DYMEX软件包中)、DIVA-GIS、GARP及MaxEnt等^[8]。CLIMEX于20世纪80年代被应用于有害生物潜在地理分布研究,涉及昆虫、病原物、杂草等,包括多种实蝇类害虫,如地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann)^[9]、昆士兰果实蝇 *Bactrocera tryoni* (Froggatt)^[9]、墨西哥按实蝇 *Anastrepha ludens* (Loew)^[10]、枣实蝇 *Carpomya vesuviana* (Costa)^[11]、蜜柑大实蝇 *Tetracus tsuneonis* (Miyake)^[12]等。近年来,其它几种软件也逐渐应用于有害生物潜在地理分布研究^[13]。在已报道的瓜实蝇和昆士兰果实蝇的潜在地理分布研究中,均将预测结果与有害生物的实际发生和为害情况进行对比,得出CLIMEX的地点比较模型预测结果的准确性优于DIVA-GIS的BIOCLIM模型^[14-15]。鉴于上述两种软件和模型进行预测时所依据的是各自的底层气象数据,本试验对底层气象数据进行了转化,应用CLIMEX的地点比较模型和DIVA-GIS的BIOCLIM模型对番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布进行预测,并进一步比较分析了两种模型的差异。

1 材料与方 法

1.1 材料

1.1.1 番石榴果实蝇的基础生物学信息:番石榴果实蝇在25~34℃和相对湿度70%左右的实验室条件下,卵期为1~3天,幼虫期为6~7天,蛹期为

6~9天,成虫产卵前期为12天,温度越低发育期越长^[16]。据此,该虫发生1个世代需要1个月左右。成虫在15℃以下,60天内未发现两性交配现象^[17]。

1.1.2 气象数据:①CLIMEX气象数据:本试验在CLIMEX v2.0自带的全球2414个站点的气象数据的基础上,添加了由中国国家气象信息中心提供的我国748个站点的气象数据;②WORLDCLIM气象数据:该数据基于月平均气温、月最高温、月最低温和总降雨量4项指标制作而成,其气象站点数目分别是24542、14930、14930和47554,空间分辨率为2.5 min;③CLIMEX气象插值数据:本试验将CLIMEX气象数据导出,基于其月最高温、月最低温和降雨量3项指标,借助相关GIS软件插值制作而成,分辨率为2.5 min,可应用于DIVA-GIS的分析。

1.1.3 地理数据:检索EPPO(European and Mediterranean Plant Protection Organization)、CAB、FSTA、AGRI、AGRICOLA、BIOSIS Previews ERIC和CNKI等国内外文献数据库获得番石榴果实蝇的地理分布资料。电子地图源于中国基础地理信息系统网站(<http://nfgis.nsd.gov.cn/>)的我国国界和省界图,比例尺为1:4000000。

1.1.4 软件平台:CLIMEX v2.0软件,澳大利亚科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)开发;DIVA-GIS 5.4软件,国际马铃薯中心开发(DIVA-GIS官方网站<http://www.diva-gis.org/>免费下载);ArcGIS 9.0软件,美国环境系统研究所公司(Environmental Systems Research Institute, ESRI)开发;SPSS 13.0软件,SPSS(Statistical Product and Service Solutions)公司研发。

1.2 方法

1.2.1 适生程度评判标准:将番石榴果实蝇适生程度划分为4级,地点比较模型和BIOCLIM模型分别根据生态气候指数(ecoclimatic index, EI)值和发生概率值进行分级。在地点比较模型中,以受害较重的印度泰米尔纳德邦^[6](EI=17)和曾入侵的美国佛罗里达州^[3](EI=8)分别作为高、中度适生区划分参照点。两种模型适生程度评判标准为:EI=0或发生概率值为0的地区为非适生区,番石榴果实蝇在该地区不能发生;0<EI≤7或发生概率大于0且小于等于2.5%的地区为低度适生区,该地区不太适宜番石榴果实蝇的发生;7<EI≤16或发生概

率大于 2.5% 且小于等于 5% 的地区为中度适生区, 该地区适宜番石榴果实蝇的发生; $EI > 16$ 或发生概率大于 5% 的地区为高度适生区, 该地区最适宜番石榴果实蝇的发生。

1.2.2 CLIMEX 地点比较模型预测: 参照 CLIMEX 自带的昆士兰果实蝇的地点比较模型参数, 依据番石榴果实蝇的生物学资料设定 CLIMEX 初始参数, 将模型运行结果与地理分布资料比对, 反复调试各参数, 最终与地理分布达到最大拟合, 确立参数体系。然后, 运行该模型得到各个 EI 并依据适生程度评判标准划分至 4 个适生等级。最后, 运用 ArcGIS 软件的反距离权重 (inverse distance weight, IDW) 算法进行插值分析, 获得番石榴果实蝇的潜在地理分布。

1.2.3 DIVA-GIS 之 BIOCLIM 模型预测: 将番石榴果实蝇的地理分布资料制作成地理分布样点文件, 把该样点文件和 WORLDCLIM 气象数据导入 DIVA-GIS 软件后, 应用 SPSS 的提取因子模块从 DIVA-GIS 系统自带的 19 个气候变量中, 筛选出月均温范

围 (mean monthly temperature range)、气温的季节性 (temperature seasonality)、最暖季的平均温度 (mean temperature of warmest quarter)、最湿季的降水量 (precipitation of wettest quarter) 和最干季的降水量 (precipitation of driest quarter) 等 5 个影响番石榴果实蝇潜在地理分布的关键气候变量。然后, 依照适生程度评判标准, 运行模型预测该虫潜在地理分布。

1.2.4 地点比较和 BIOCLIM 模型预测方法比较: 将 CLIMEX 气象插值数据和番石榴果实蝇的地理分布样点文件导入 DIVA-GIS 软件, 运用 SPSS 软件筛选出影响该虫潜在地理分布的关键气候变量后, 依照适生程度评判标准, 运行模型预测该虫潜在地理分布, 并与前面的预测结果比较。

2 结果与分析

2.1 CLIMEX 分析

2.1.1 地点比较模型参数: 地点比较模型预测番石榴果实蝇潜在地理分布的参数体系见表 1。

表 1 番石榴果实蝇的地点比较模型参数

Table 1 Comparing location model parameters of *Bactrocera* (*Bactrocera*) *correcta*

参数名称 Parameter description	参数值 Parameter value	
	昆士兰果实蝇模板 Template of <i>B. tryoni</i>	修正后 Modified
DV0 发育起点温度 Lower threshold temperature	12.000	13.000
DV1 最适发育温度下限 Lower optimum temperature	25.000	24.000
DV2 最适发育温度上限 Upper optimum temperature	33.000	34.000
DV3 发育上限温度 Upper threshold temperature	36.000	35.000
PDD 有效积温 Degree-days to complete one generation	380.000	440.000
SM0 土壤湿度临界下限 Lower threshold of soil moisture	0.100	0.100
SM1 最适土壤湿度下限 Lower limit of optimum soil moisture	0.500	0.240
SM2 最适土壤湿度上限 Upper limit of optimum soil moisture	1.750	0.850
SM3 土壤湿度临界上限 Upper threshold of soil moisture	2.000	1.300
TTCS 冷胁迫日度临界 Cold stress temperature threshold	2.000	9.000
THCS 冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate	-0.100	-5.0×10^{-4}
TTHS 热胁迫临界温度 Heat stress temperature threshold	36.000	36.000
THHS 热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate	0.005	8.0×10^{-4}
SMDS 干旱胁迫临界 Dry stress soil moisture threshold	0.100	0.100
HDS 干旱胁迫速率 Dry stress accumulation rate	-0.005	-3.6×10^{-4}
SMWS 湿胁迫临界 Wet stress soil moisture threshold	2.000	1.500
HWS 湿胁迫速率 Wet stress accumulation rate	0.002	6.0×10^{-4}

2.1.2 地点比较模型预测: 番石榴果实蝇在我国的适生区域广, 分布在黄河流域以南地区。高、中度适生区主要在北纬 25° 以南和四川盆地, 其中海南、广东沿海 (除珠江口)、广西大部 (除东北部和钦州

湾)、云南南部及北部云川交界地区、台湾南部及西部沿海、四川东南、贵州南部和湖南、江西、福建三省的零星地区为高度适生区; 云南中部、广西东北部及钦州湾、广东北部及珠江口、台湾中部、福建大部、湖

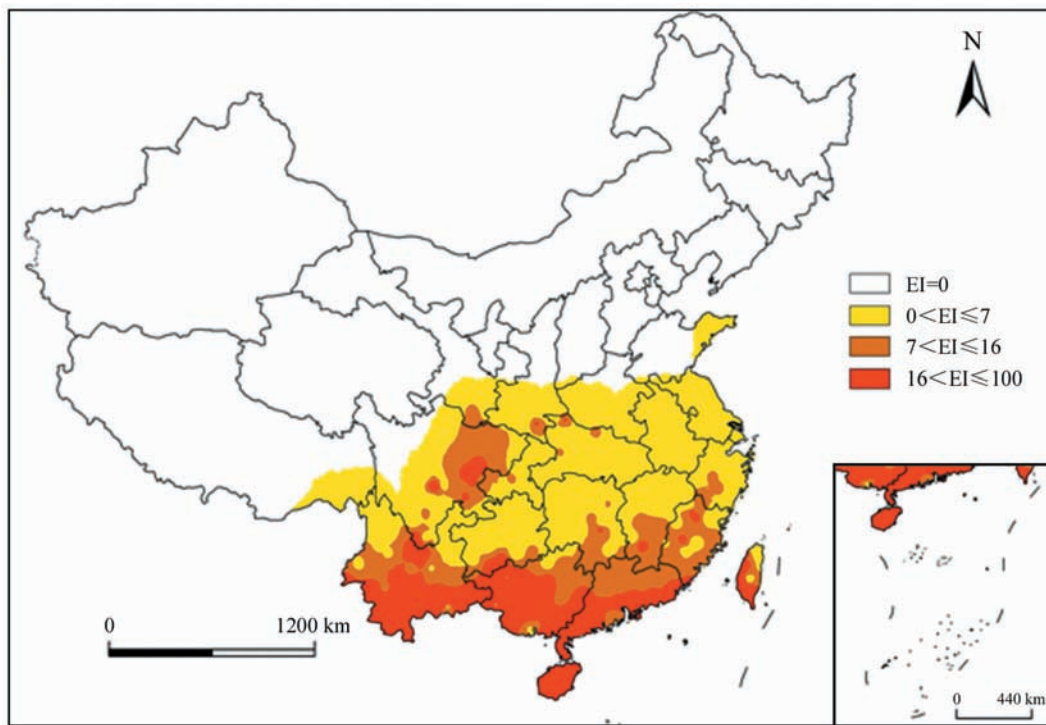


图 1 地点比较模型预测番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布

Fig. 1 The potential geographical distribution of *Bactrocera* (*Bactrocera*) *correcta* in China by comparing location model

注:红色区域为高度适生区,褐色区域为中度适生区,黄色区域为低度适生区,白色区域为非适生区。Note: The red, brown, yellow and white areas demonstrate as high, medium, low and non-suitable probability of *B. correcta* respectively.

南南部、江西南部、浙江南部、四川东部、甘肃南部、重庆西部、贵州南部以及陕西湖北交界部分地区为中度适生区(图 1)。

2.2 DIVA-GIS 分析

2.2.1 BIOCLIM 模型预测:基于 WORLDCLIM 气象数据的 BIOCLIM 模型预测番石榴果实蝇在我国的高、中度适生区主要在北纬 25°以南和四川盆地,高度适生区包括海南、云南大部、广西大部、广东中部和南部、福建南部、四川南部的部分地区、西藏东南部分地区以及台湾西部沿海地区;中度适生区包括广西北部、广东北部、福建中部、贵州西部、四川东南、江西南部 and 云南北部的部分地区;低度适生区主要有广西、广东和福建三省的北部、贵州东部、云贵交界区、四川东部、重庆、湖北西部、湖南和江西两省大部、浙江南部、甘肃南部、陕西南部 and 台湾中北部;其余地区为非适生区(图 2)。

2.2.2 基于 CLIMEX 气象插值数据的 BIOCLIM 模型预测:基于 CLIMEX 气象插值数据预测的番石榴果实蝇在我国的高、中度适生区大体在北纬 25°以南和四川盆地,其中高度适生区包括海南、云南大部、广西中部和南部(除钦州湾)、广东中部和南部、

福建中南部、四川中部和南部的部分地区、西藏东南部部分地区以及台湾中部;中度适生区包括广西、广东和福建三省的中部、浙江南部、江西南部、贵州中西部、云南中部地区和四川盆地;低度适生区主要包括广西、广东和福建三省的北部、贵州东部、四川东部、云藏川交界区、重庆、湖北西部、湖南大部、江西大部、浙江大部、甘肃南部、陕西南部、安徽南部和台湾中南部(图 3)。

2.3 结果比较分析

本试验中 WORLDCLIM 气象数据和 CLIMEX 气象插值数据在丰富度方面存在较大差异,但基于这两套数据的 BIOCLIM 模型所预测番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布范围基本一致,仅在小部分地区存在适生程度的细微差别,表明气象丰富度对 BIOCLIM 模型的预测结果影响较小。

基于地点比较模型和 CLIMEX 气象插值数据的 BIOCLIM 模型对低度适生区范围的预测结果存在较大差异,原因在于模型不同。地点比较模型预测结果以 EI 值表示,EI 值是考虑环境因子和有害生物具体生物学资料的影响后运算所得,并以地理分布资料验证结果;而 BIOCLIM 模型是依据地理分布

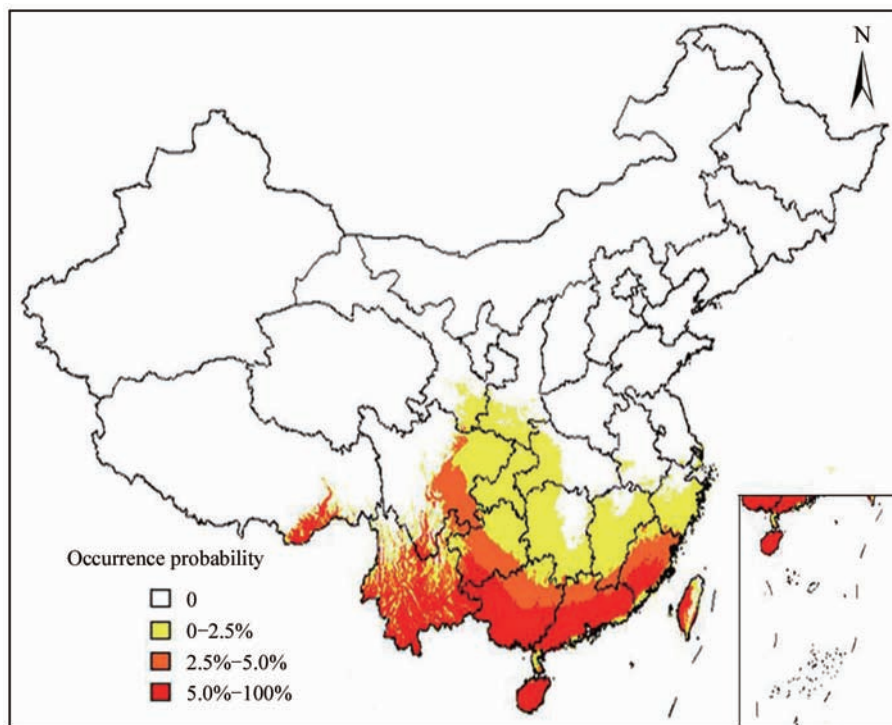


图 2 BIOCLIM 模型预测番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布

Fig. 2 The potential geographical distribution of *Bactrocera* (*Bactrocera*) *correcta* in China by BIOCLIM model

注:红色区域为高度适生区,褐色区域为中度适生区,黄色区域为低度适生区,白色区域为非适生区。Note: The red, brown, yellow and white areas demonstrate as high, medium, low and non-suitable probability of *B. correcta* respectively.

点结合筛选出的生物气候变量进行预测,地理分布点的多寡对预测结果影响较大。因此,潜在地理分布研究中,预测模型的选择取决于特定有害生物的特性和基础资料的丰富度。就番石榴果实蝇而言,其生物学资料相对较多而地理分布点相对较少,通过分析比较,作者认为 CLIMEX 的地点比较模型优于 DIVA-GIS 的 BIOCLIM 模型。

3 讨论

目前,有害生物潜在地理分布研究广受关注,现有文献中大多采用一种模型进行分析,而比较不同模型差异的研究报道较少。作者以番石榴果实蝇作为研究对象,采用转化气象数据的技术手段,运用两种模型预测其潜在地理分布,并对结果进行比较分析,以期甄选一种较优的适生性分析模型,并更为科学合理地预测其适生性,为检疫监管部门提供决策支持。

本试验采用插值方法扩展了气象资料缺失的区域,虽然有可能牺牲个别的特殊气候点,但该气象资料不仅能够应用于 DIVA-GIS 对有害生物潜在地理分布进行预测,还为两种模型比较提供了便利。

这表明插值方法在气象资料转化中具有可行性,而两种模型预测结果比较,也为有害生物潜在地理分布研究中分析软件的选取提供了依据。

本试验尚存不足之处。相对于有害生物潜在地理分布软件及模型而言,作者仅对地点比较模型和 BIOCLIM 模型进行比较;其次,针对 CLIMEX 自带的我国气象数据少的情况,作者添加了相关的气象数据,然而其丰富度仍难以全面体现我国复杂多样的气候特点;另外,寄主分布、种间竞争等都可能影响有害生物的地理分布。

致谢:本研究承蒙国家质量监督检验检疫总局黄冠胜先生、张宝峰先生悉心指导,特此致谢。

参考文献(References)

- [1] 刘晓飞, 王大明, 叶辉. 番石榴实蝇研究概况. 热带农业科技, 2005, 28(4): 30-33
- [2] 汪兴鉴, 赵明珠. 中国寡鬃实蝇属记述(双翅目:实蝇科). 动物分类学报, 1989(2): 209-219
- [3] 梁广勤, 杨国海, 梁帆, 等. 亚太地区寡毛实蝇. 广州: 广东科技出版社, 1996
- [4] White I M, Elson-Harris M M. Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. UK: Red Wood Press

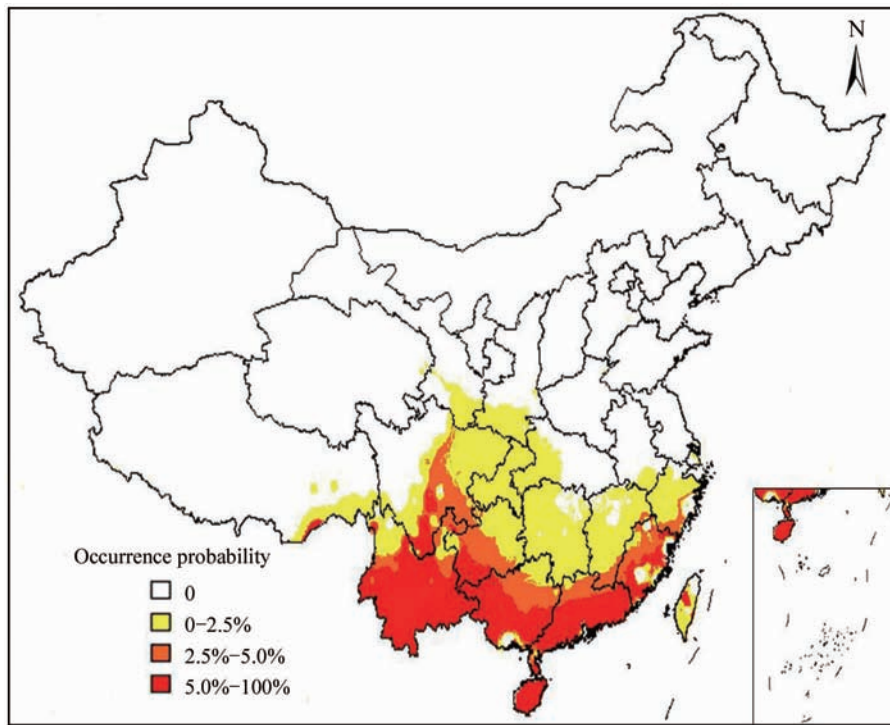


图3 基于 CLIMEX 气象插值数据的 BIOCLIM 模型预测番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布

Fig. 3 The potential geographical distribution of *Bactrocera* (*Bactrocera*) *correcta* in China by BIOCLIM model based on the CLIMEX global meteorological data

注:红色区域为高度适生区,褐色区域为中度适生区,黄色区域为低度适生区,白色区域为非适生区。Note: The red, brown, yellow and white areas demonstrate as high, medium, low and non-suitable probability of *B. correcta* respectively.

Ltd., 1992

- [5] Clarke A R, Allwood A, Chinajariyawong A, et al. Seasonal abundance and host use patterns of seven *Bactrocera macquart* species (Diptera: Tephritidae) in Thailand and Peninsular Malaysia. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2001, 49(2): 207-220
- [6] Jalaluddin S M, Natarajan K, Sadakathulla S, et al. Discovery of the guava fruit fly *Bactrocera correcta* (Bezzi). *Entomology*, 1999, 24(2): 195-196
- [7] Drew R A I, Raghu S. The fruit fly fauna (Diptera: Tephritidae; *Dacinae*) of the rainforest habitat of the Western Ghats, India. *Raffles Bulletin of Zoology*, 2002, 50(2): 327-352
- [8] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. *生物多样性*, 2007, 15(4): 365-372
- [9] 周国梁, 李尉民, 印丽萍. 外来有害生物适生性研究方法及需要注意的若干问题. *植物检疫*, 2006, 20(增刊): 1-7
- [10] 耿建, 李志红, 万方浩, 等. 墨西哥按实蝇在我国的适生性分析. *植物保护*, 2008, 34(4): 93-98
- [11] 吕文刚, 林伟, 李志红, 等. 枣实蝇在中国适生性初步研究. *植物检疫*, 2008, 22(6): 343-347
- [12] 王俊伟, 李志红, 陈洪俊, 等. 蜜柑大实蝇在中国的适生性研究. *植物检疫*, 2009, 23(1): 1-4
- [13] 葛泉卿, 温孚江. 葡萄金黄化病和葡萄带叶蝉在中国的潜在分布区. *植物保护学报*, 2006, 33(2): 51-58
- [14] 孔令斌, 林伟, 李志红, 等. 基于 DYMEX 和 DIVA-GIS 的瓜实蝇潜在地理分布预测. *植物保护学报*, 2008, 35(2): 148-154
- [15] 饶玉燕, 黄冠胜, 李志红, 等. 基于 DYMEX 和 DIVA-GIS 的昆士兰果实蝇潜在地理分布预测. *植物保护学报*, 2009, 36(1): 1-6
- [16] 梁广勤, 徐伟. 番石榴实蝇 *Dacus* (*Strumeta*) *correctus* (Bezzi) 及其生活习性的观察. *江西农业大学学报*, 1985(4): 51-55
- [17] Rana J S, Parkash O, Verma S K. Biology of guava fruit fly infesting guava fruits in Haryana and influence of temperature and relative humidity on its incidence. *Crop Research (Hisar)*, 1992, 5(3): 525-529