

“大北农教育基金”资助出版

生物入侵防控： 重要经济实蝇潜在地理分布研究

李志红 主编

Prevention and Control of Biological Invasions:
Potential Geographical Distribution of
Economic Important Fruit Flies



中國農業大學出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

“大北农教育基金”资助出版

生物入侵防控： 重要经济实蝇潜在地理分布研究

李志红 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书在收集、分析重要经济实蝇国内外相关资料的基础上,采用 CLIMEX 地点比较模型预测与 ArcGIS 插值分析相结合的方法,针对 42 种重要经济实蝇进行了潜在地理分布研究,明确了其在我国的适生范围和适生程度,并提出了实蝇类害虫入侵防控措施建议。本书介绍了重要经济实蝇潜在地理分布研究的背景,重要经济实蝇潜在地理分布研究的材料和方法,按实蝇属 *Anastrepha*、果实蝇属 *Bactrocera*、小条实蝇属 *Ceratitis*、寡鬃实蝇属 *Dacus*、绕实蝇属 *Rhagoletis*、咭实蝇属 *Carpomya* 等不同类群 42 种实蝇的潜在地理分布研究结果,以及进一步防控重要经济实蝇入侵我国的措施建议。

本书适于我国植物检疫管理和技术服务部门、农业科研院所以及高等院校等工作人员和师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物入侵防控:重要经济实蝇潜在地理分布研究/李志红主编.—北京:中国农业大学出版社,2015.5

ISBN 978-7-5655-1211-7

I. ①生… II. ①李… III. ①实蝇科-地理分布-研究-世界 IV. ①Q969.440.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 079413 号

书 名 生物入侵防控:重要经济实蝇潜在地理分布研究

作 者 李志红 主编

策划编辑 潘晓丽

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 15 印张 373 千字 彩插 32

定 价 64.00 元

责任编辑 潘晓丽

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编委会成员

主 编 李志红

副主编 黄冠胜 陈洪俊 林 伟 吴佳教 陈乃中 张宝峰
倪文龙 赵紫华

编 委 (按姓氏拼音排序)

陈洪俊	陈乃中	方 焱	傅 辽	黄冠胜	耿 建
龚 婕	姜 帆	孔令斌	李 凯	李云龙	李志红
林 伟	刘佳琪	刘静远	卢小雨	罗 丹	吕文诚
吕文刚	马兴莉	倪文龙	秦 萌	秦誉嘉	曲伟伟
饶玉燕	孙 楠	王 聪	王俊伟	王宁波	吴佳教
吴志刚	么若楠	余 晶	曾 辉	张宝峰	张晓清
张 哲	赵守歧	赵 朔	赵 谈	赵紫华	

前 言

生物入侵威胁着全球生态系统的安全,其有效防控受到普遍关注。随着国际贸易及文化交流等的发展,以预防外来有害生物传入和扩散、保护农林生产安全和人体健康、促进植物和植物产品国际贸易为宗旨的植物检疫工作受到各国政府以及相关国际组织的高度重视。在诸多的有害生物中,实蝇科(Tephritidae)害虫是具有重要经济意义的有害生物类群,在世界植物检疫及生物入侵防控中占有重要地位。

实蝇类害虫主要以幼虫在水果、蔬菜的果实内部取食为害,以成虫在果实表皮产卵形成孔洞,造成落果或整个果实腐烂,对果蔬生产构成严重危害,给进出口贸易带来严重影响。目前,世界已知实蝇约 500 属、4 500 余种,其中 250 余种实蝇具有经济意义;在我国现行的植物检疫性有害生物名录中,包括进境检疫性实蝇、全国农业检疫性实蝇及林业检疫性实蝇,涉及按实蝇属 *Anastrepha*、果实蝇属 *Bactrocera*、小条实蝇属 *Ceratitis*、寡鬃实蝇属 *Dacus*、绕实蝇属 *Rhagoletis*、咋实蝇属 *Carpomya* 等;我国口岸截获信息显示,在进境旅客携带物检疫及货物检疫中实蝇类害虫常有截获,包括地中海实蝇 *C. capitata* (Wiedemann) 等 30 余种;我国实蝇监测及文献报道显示,橘小实蝇 *B. dorsalis* (Hendel) 等重要经济实蝇分布范围有逐渐北扩的趋势。随着全球经济一体化格局的逐步形成和自由贸易区的不断扩大,包括水果和蔬菜在内的农产品贸易量不断增长,上述实蝇类害虫入侵我国的威胁在逐步加剧,其在我国的潜在地理分布研究亟待开展。

在引进国际先进农业科学技术项目“重要农业害虫入侵风险定量评估技术的引进与示范应用”(2012-Z15)及国家科技支撑计划课题“入侵物种风险评估与早期预警技术”(2006BAD08A15)等资助下,中国农业大学、国家质量监督检验检疫总局、中国检验检疫科学研究院、广东检验检疫技术中心等单位的有关师生及专家通力合作,自 2007 年起,历经 8 年时间,在广泛收集重要经济实蝇国内外相关资料及深入分析其寄主危害、地理分布、环境因子影响等生物生态学特性的基础上,采用 CLIMEX 地点比较模型预测与 ArcGIS 插值分析相结合的方法,针对 42 种重要经济实蝇的潜在地理分布进行了较为系统的研究,明确了其在我国的适生范围和适生程度,并提出了实蝇类害虫入侵防控措施建议。本研究的部分成果已在我国对外贸易谈判及检疫决策中发挥了重要作用。

本书包括 10 章,第一章介绍了重要经济实蝇及潜在地理分布研究背景,第二章介绍了重要经济实蝇潜在地理分布研究材料与方法,第三章至第九章分别介绍了按实蝇属等不同类群 42 种实蝇的潜在地理分布研究结果,第十章在综合分析

重要经济实蝇潜在地理分布的基础上,提出了进一步防控其入侵我国的措施建议。

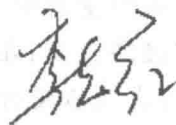
本书适于我国植物检疫管理和技术服务部门、农业科研院所以及高等院校等工作人员和师生阅读。本团队目前所拥有的技术、数据和经验有限,本书内容定有不足之处,敬请读者斧正!

在本项研究及书稿的撰写过程中,得到了我国生物入侵防控领域诸多前辈和专家的悉心指点,得到了澳大利亚 CSIRO 的 Darren J. Kriticos 博士等国外专家的热情帮助,得到了中国农业大学植物检疫与入侵生物学实验室全体成员的鼎力支持,在此特别致谢!

本书得到了“大北农教育基金”出版资助,在此鸣谢!

谨以此书敬献给在中国植物检疫与入侵生物学领域辛勤耕耘的劳动者!

谨以此书敬献给中国农业大学建校 110 周年!



2015 年 1 月 10 日

目 录

第一章 重要经济实蝇及潜在地理分布研究背景.....	1
第一节 重要经济实蝇种类及其检疫地位.....	1
第二节 有害生物潜在地理分布研究常用软件和模型.....	3
第三节 重要经济实蝇潜在地理分布研究进展.....	7
第二章 重要经济实蝇潜在地理分布研究材料与方法	11
第一节 研究材料	11
第二节 研究方法	13
第三章 按实蝇属重要种类的潜在地理分布	15
第一节 南美按实蝇	15
第二节 墨西哥按实蝇	19
第三节 西印度按实蝇	24
第四节 山榄按实蝇	32
第五节 加勒比按实蝇	36
第四章 果实蝇属重要种类的潜在地理分布	41
第一节 蒲桃果实蝇	41
第二节 番荔枝果实蝇	45
第三节 杨桃果实蝇	49
第四节 胡桃果实蝇	54
第五节 普通果实蝇	59
第六节 番石榴果实蝇	64
第七节 瓜实蝇	69
第八节 橘小实蝇	74
第九节 澳洲果实蝇	79
第十节 柯氏果实蝇	85
第十一节 辣椒果实蝇	90
第十二节 橘大实蝇	95
第十三节 褐肩果实蝇.....	100
第十四节 芒果实蝇.....	104
第十五节 油橄榄果实蝇.....	109
第十六节 宽带果实蝇.....	115
第十七节 南亚果实蝇.....	119
第十八节 昆士兰果实蝇.....	125
第十九节 蜜柑大实蝇.....	129
第二十节 短尾果实蝇.....	134

第二十一节 面包果实蝇	139
第二十二节 桃果实蝇	144
第五章 喙实蝇属重要种类的潜在地理分布	150
第一节 枣实蝇	150
第六章 小条实蝇属重要种类的潜在地理分布	156
第一节 黑羽小条实蝇	156
第二节 地中海实蝇	160
第三节 芒果小条实蝇	165
第四节 南非小条实蝇	169
第五节 马达加斯加小条实蝇	173
第六节 五点小条实蝇	177
第七节 纳塔耳小条实蝇	181
第七章 寡鬃实蝇属重要种类的潜在地理分布	187
第一节 葫芦寡鬃实蝇	187
第二节 埃塞俄比亚寡鬃实蝇	192
第三节 西瓜寡鬃实蝇	197
第八章 绕实蝇属重要种类的潜在地理分布	202
第一节 苹绕实蝇	202
第九章 其他属重要种类的潜在地理分布	207
第一节 橘实锤腹实蝇	207
第二节 番茄实蝇	211
第三节 番木瓜长尾实蝇	215
第十章 重要经济实蝇潜在地理分布综合分析及入侵防控措施讨论	221
第一节 重要经济实蝇潜在地理分布综合分析	221
第二节 重要经济实蝇入侵防控措施讨论	228

第一章 重要经济实蝇及潜在地理分布研究背景

第一节 重要经济实蝇种类及其检疫地位

实蝇(fruit flies)隶属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae,世界已知约 500 属 4 500 余种。实蝇类害虫主要以幼虫在水果、蔬菜的果实内部蛀食为害,以成虫在果实表皮产卵形成孔洞,造成落果或果实腐烂,给果蔬生产造成严重危害,给进出口贸易带来严重影响。实蝇类害虫通过两种途径在全球范围内扩散,一是人为传播,如随果蔬贸易(包括国际贸易及国内调运)、旅客携带等扩散;二是自然传播,如自身飞行及借助气流、风等扩散。针对经济性实蝇,1992 年 White 和 Elson-Harris 合著的“Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics”共记述了世界具有经济意义的实蝇计 26 属 233 种;2009 年,吴佳教、梁帆、梁广勤合著的《实蝇类重要害虫鉴定图册》一书中,描述了 34 属 193 种实蝇。一般认为,约 1 500 种实蝇可能与各种果实有关,其中 250 余种实蝇具有经济意义,重要经济实蝇的全球性扩散受到植物检疫等生物入侵防控领域的普遍关注(李志红等,2013)。

近年来,复合体(species complex)成为实蝇分类学及 DNA 条形码鉴定研究中的热点问题,其中尤以橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 复合体种类研究的新进展最为突出。自 2012 年以来,来自澳大利亚、泰国、巴基斯坦等国家和地区的实蝇工作者从形态测量学、遗传学、行为学、化学生态学等方面研究了橘小实蝇复合体中的橘小实蝇、木瓜果实蝇 *B. papayae* Drew 和 Hancock、菲律宾果实蝇 *B. philippinensis* Drew 和 Hancock、入侵果实蝇 *B. invadens* Drew 和杨桃果实蝇 *B. carambolae* Drew 和 Hancock,研究结果显示,橘小实蝇、木瓜果实蝇、菲律宾果实蝇和入侵果实蝇为同一物种,杨桃果实蝇为另一物种(Schutze 等,2012;2015a;2015b),这一研究结果于 2014 年 10 月被联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,FAO)官方网站以题为“Four in one-new discovery on pest fruit flies”进行了报道(图 1-1-1),笔者认为这一“四合一”新发现将对全球实蝇类害虫的科学研究及入侵防控工作产生重要影响。

我国高度重视实蝇类害虫的入侵防控工作。目前,我国植物检疫性有害生物名录共有 3 个,即《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》、《全国农业植物检疫性有害生物名录》和《全国林业植物检疫性有害生物名录》,涉及进境检疫性实蝇、全国农业检疫性实蝇及全国林业检疫性实蝇。其中,进境检疫性实蝇包括 10 个种(属),即按实蝇属 *Anastrepha* Schiner、果实蝇属 *Bactrocera* Macquart、小条实蝇属 *Ceratitis* Macleay、寡鬃实蝇(非中国种) *Dacus* spp. (non-Chinese)、绕实蝇(非中国种) *Rhagoletis* spp. (non-Chinese)、欧非枣实蝇 *Carpomya incompleta* (Becker)、枣实蝇 *Carpomya vesuviana* Costa、橘实锤腹实蝇 *Monacrostichus citricola* Bezzi、甜瓜迷实蝇 *Myiopardalis pardalina* (Bigot) 和番木瓜长尾实蝇 *Toxotrypana curvicauda* Gerstaecker;全国农业检疫性实蝇及林业检疫性实蝇各包括 1 个种,即蜜柑大实



图 1-1-1 关于实蝇种类新发现的“Four in one”报道(引自 FAO 官方网站)

Fig. 1-1-1 The “Four in one” report of pest fruit flies on FAO website

蝇 *B. tsuneonis* (Miyake) 和枣实蝇(李志红等,2013)。2013 年 2 月,农业部发布了《国家重点管理外来物种名录(第一批)》(第 1897 号公告),该名录中包括 52 种已对我国生物多样性和生态环境造成严重危害的外来入侵物种,涉及实蝇类害虫计 3 种,即橘小实蝇、瓜实蝇 *B. cucurbitae* (Coquillett)和枣实蝇。

我国口岸截获信息显示,在旅客携带物检疫及货物检疫中实蝇常有截获,涉及的种类主要包括果实蝇属的橘小实蝇、辣椒果实蝇 *B. latifrons* (Hendel)、番石榴果实蝇 *B. correcta* (Bezzi)、瓜实蝇、南亚果实蝇 *B. tau* (Walker)、杨桃果实蝇、蒲桃果实蝇 *B. albistrigata* (de Meijere)、桃果实蝇 *B. zonata* (Saunders)、面包果实蝇 *B. umbrosa* (Fabricius)、昆士兰果实蝇 *B. tryoni* (Froggatt)等,小条实蝇属的地中海实蝇 *C. capitata* (Wiedemann)、芒果小条实蝇 *C. cosyra* (Walker)等,按实蝇属的西印度按实蝇 *A. obliqua* (Macquart)、南美按实蝇 *A. fraterculus* (Wiedemann)等,寡鬃实蝇属的葫芦寡鬃实蝇 *D. bivittatus* (Bigot)等(李志红等,2013)。

我国实蝇监测信息及文献报道显示,已有分布的实蝇种类包括橘小实蝇、瓜实蝇、南亚果实蝇、番石榴果实蝇、辣椒果实蝇、宽带果实蝇 *B. scutellata* (Hendel)、蜜柑大实蝇、橘大实蝇 *B. minax* (Enderlein)以及枣实蝇等,橘小实蝇、瓜实蝇、南亚果实蝇等有逐渐北扩的趋势,严重威胁我国果蔬生产及其出口贸易。

参考文献

1. 李志红,姜帆,马兴莉,等.实蝇科害虫入侵防控研究进展.植物检疫,2013,27(2): 1-10.
2. 吴佳教,梁帆,梁广勤.实蝇类重要害虫鉴定图册.广州:广东科技出版社,2009.
3. Schutze M K, Aketarawong N, Amornsak W, et al. Synonymization of key pest species within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae): taxonomic changes based on a review of 20 years of integrative morphological, molecular, cytogenetic, behavioural and chemoecological data. Systematic Entomology, 2015a, 40:456-491.
4. Schutze M K, Krosch M N, Armstrong K F, et al. Population structure of *Bactrocera dorsalis* s.s., *B. papayae* and *B. philippinensis* (Diptera: Tephritidae) in

southeast Asia: evidence for a single species hypothesis using mitochondrial DNA and wing-shape data. BMC Evolutionary Biology, 2012, 12: 120.

5. Schutze M K, Mahmood K, Pavasvici A, *et al.* One and the same: integrative taxonomic evidence that *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae) is the same species as the Oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*. Systematic Entomology, 2015b, 40:472-486.

6. White I M, Elson-Harris M M. Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 1992.

第二节 有害生物潜在地理分布研究常用软件和模型

有害生物入侵某一地区的过程主要包括进入(entry)、定殖(establishment)、扩散(spread)和暴发(outbreak)4个阶段,针对不同阶段采取适宜的预防与控制技术能够有效地减缓或消除其入侵。潜在地理分布(potential geographical distribution)研究,国内一般称为适生性分析,涉及适生范围和适生程度,即有害生物在所研究地区中能够定殖和扩散到的区域范围以及有害生物在该区域范围内的适生程度,常以适生区、非适生区以及高度适生区、中度适生区、低度适生区来表示。有害生物潜在地理分布研究是有害生物风险分析(pest risk analysis, PRA)中的重要内容,是进一步评估有害生物潜在经济损失及制订风险管理措施的重要基础,国内外均给予特别关注。

目前,有害生物潜在地理分布研究常用的工具是生态位软件和模型,主要包括4种,即CLIMEX软件的地点比较模型(compare locations)、DIVA-GIS软件及BIOCLIM和DOMAIN模型、Maxent软件及模型、GARP软件及模型,与其他3种软件相比,笔者认为CLIMEX问世最早、应用最广、影响最大,同时也是当前唯一的商业软件(软件包名称为DYMEX)。CLIMEX是由澳大利亚昆士兰大学Sutherst教授和Maywald博士于1985年所建立的预测物种潜在地理分布的动态模拟软件,随着计算机软硬件的发展,该软件于1995年推出了CLIMEX 1.0版本,1999年由澳大利亚科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)推出了基于Windows和Unix的CLIMEX 1.1版本,随后陆续推出了2004年的CLIMEX 2.0版本、2007年的CLIMEX 3.0版本。

澳大利亚CSIRO风险评估与模型工作负责人Darren J. Kriticos博士应邀于2012年访问中国农业大学,期间详细介绍了CLIMEX软件、模型及其应用。如图1-2-1所示,CLIMEX地点比较模型通过分析物种已知分布区的气候条件来预测物种的潜在地理分布,即适生范围和适生程度,模型基于以下2个假设:①气候是影响物种地理分布和种群数量的主要因素;②物种在一年内经历两个时期,适合种群增长时期和不适合以至于危及生存的时期,并利用一系列参数描述物种对气候的不同反应。

CLIMEX地点比较模型包括温度、湿度、光照、滞育、冷胁迫、热胁迫、干胁迫、湿胁迫、交互胁迫以及灌溉等一系列参数,各参数描述如表1-2-1所示。已有的研究经验显示,在研究某一物种的潜在地理分布时,需根据该物种的生物生态学特性及实际地理分布选择相关的参数进行预测。

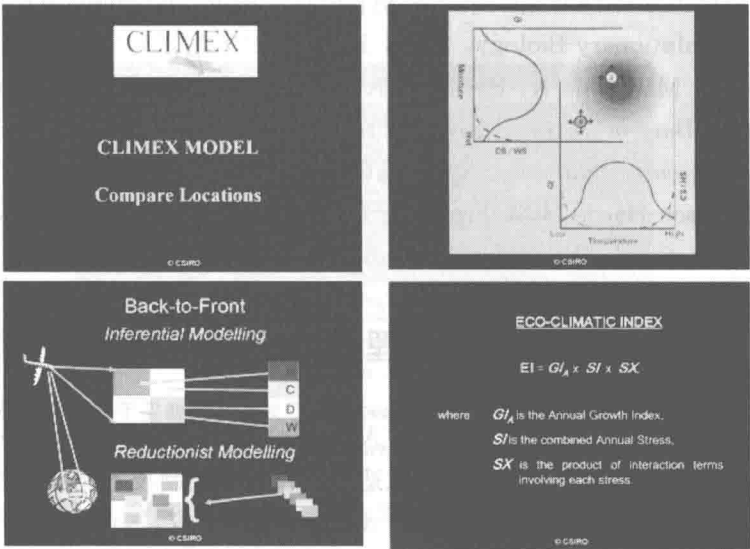


图 1-2-1 CLIMEX 及地点比较模型

(引自澳大利亚 CSIRO 专家赠送的 PPT 资料)

Fig. 1-2-1 CLIMEX and Compare Locations Model

(Cited from the PPT which presented by the expert from CSIRO)

表 1-2-1 CLIMEX 参数类别及描述

Table 1-2-1 The parameters and descriptions of CLIMEX

参数类别	参数中文描述	参数英文缩写	参数英文描述
温度指数	发育起点温度	DV0	Lower threshold temperature
	适宜温度下限	DV1	Lower optimum temperature
	适宜温度上限	DV2	Upper optimum temperature
	发育最高温度	DV3	Upper threshold temperature
	有效积温	PDD	Degree-days per generation
湿度指数	发育需要的最低土壤湿度	SM0	Lower threshold of soil moisture
	适宜发育需要的土壤湿度下限	SM1	Lower limit of optimum soil moisture
	适宜发育需要的土壤湿度上限	SM2	Upper limit of optimum soil moisture
	发育需要的土壤最高湿度	SM3	Upper threshold of soil moisture
光照指数	种群增长为 0 的日照时数	LT1	the daylength below which growth is 0
	种群增长最快的日照时数	LT0	the daylength (in hours) above which growth is at a maximum
滞育指数	诱导滞育光周期	DPD0	Diapause induction day length
	诱导滞育温度	DPT0	Diapause induction temperature (average weekly minimum)
	滞育终止温度	DPD1	Diapause termination temperature (average weekly minimum)

续表 1-2-1

参数类别	参数中文描述	参数英文缩写	参数英文描述
冷胁迫	滞育天数	DPD	Diapause development days
	滞育季节	DPSW	Summer or winter diapause ('0' for winter diapause, '1' for summer diapause)
	冷胁迫开始积累阈值	TTCS	Cold stress temperature threshold
	冷胁迫积累速率	THCS	Cold stress accumulation rate
	冷胁迫日度阈值	DTCS	Minimum degree-day cold stress threshold
	冷胁迫日度累积速率	DHCS	Degree-day cold stress rate
	冷胁迫积累前周平均温度	TTCSA	Cold stress average temperature threshold
热胁迫	冷胁迫温度积累速率	THCSA	Average temperature cold stress rate
	热胁迫开始积累阈值	TTHS	Heat stress temperature threshold
	热胁迫积累速率	THHS	Heat stress accumulation rate
	热胁迫日度阈值	DTHS	Minimum degree-day heat stress threshold
干胁迫	热胁迫日度累积速率	DHHS	Degree-day heat stress rate
	干胁迫开始积累阈值	SMDS	Dry stress soil moisture threshold
	干胁迫积累速率	HDS	Dry stress accumulation rate
湿胁迫	湿胁迫开始积累的阈值	SMWS	Wet stress soil moisture threshold
	湿胁迫积累速率	HWS	Wet stress accumulation rate
冷-干胁迫	冷-干胁迫的日度阈值	DTCD	Cold-Dry degree-day threshold
	冷-干胁迫湿度阈值	MTCD	Cold-Dry moisture threshold
	冷-干胁迫积累速率	PCD	Cold-Dry stress accumulation rate
冷-湿胁迫	冷-湿胁迫开始积累阈值	DTCW	Cold-Wet degree-day threshold
	冷-湿胁迫湿度阈值	MTCW	Cold-Wet moisture threshold
	冷-湿胁迫积累速率	PCW	Cold-Wet stress accumulation rate
热-干胁迫	热-干胁迫开始积累点	TTHD	Hot-Dry degree-day threshold
	热-干胁迫湿度阈值	MTHD	Hot-Dry moisture threshold
	热-干胁迫积累速率	PHD	Hot-Dry stress accumulation rate
热-湿胁迫	热-湿胁迫开始积累点	TTHW	Hot-Wet degree-day threshold
	热-湿胁迫湿度阈值	MTHW	Hot-Wet moisture threshold
	热-湿胁迫积累速率	PHW	Hot-Wet stress accumulation rate
灌溉指数	季节/月份		Irrigation

CLIMEX 地点比较模型通过计算某一物种在一定区域内各地点的生态气候指数(Ecoclimatic Index, EI)来预测该物种在这一区域内各地点的适生性,包括能否适生以及适生程度如何:EI 值为 0~100;当 EI=0 时,表示不适生;当 EI>0 时,表示适生;EI 值越大表示适生程度越高。EI 计算公式如下,其中 GI_A (Annual Growth Index)是每年的生长指数,SI (Annual

Stress Index)是每年的胁迫指数, SX (Stress Interaction Index)是每年的交互胁迫指数; GI_w 是物种每星期的生长指数, CS 、 DS 、 HS 、 WS 分别是每年的冷胁迫指数、干胁迫指数、热胁迫指数、湿胁迫指数, CDX 、 CWX 、 HDX 和 HWX 分别是每年的冷-干胁迫指数、冷-湿胁迫指数、热-干胁迫指数、热-湿胁迫指数。

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

其中, $GI_A = 100 \times \sum_{i=1}^{52} GI_{wi} / 52$

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

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

运用 CLIMEX 进行物种潜在地理分布研究主要有 3 种方式。①参数直接输入法:在物种生物生态学数据充分而地理分布数据相对缺乏的情况下,使用生物生态学参数直接输入法;②参数调试修正法:在地理分布数据充分而生物生态学数据相对缺乏的情况下,使用地理分布调试修正法,其中一部分分布数据用于调试物种分布,另一部分分布数据用于修正物种分布;③参数输入与调试结合法:在地理分布数据和生物生态学数据都比较充分的条件下,使用生物生态学参数直接输入法、地理分布调试修正法相结合的方法,这是运用 CLIMEX 进行物种潜在地理分布研究最准确的方式。

我国于 20 世纪 90 年代初期引进 CLIMEX,原北京农业大学、原农业部植物检疫实验所等学习、运用 CLIMEX 开展了针对美国白蛾、苹果蠹蛾等重要害虫的潜在地理分布研究。近年来,中国农业大学、国家质量监督检验检疫总局、中国检验检疫科学研究院、广东检验检疫技术中心的有关专家们相互合作、共同指导 15 位研究生运用上述 CLIMEX 软件的地点比较模型、DIVA-GIS 软件及 BIOCLIM 模型、Maxent 软件及模型、GARP 软件及模型开展了有害生物潜在地理分布研究和探索(王宁波,2008;耿建,2008;曾辉,2008;孔令斌,2008;刘静远,2008;卢小雨,2009;吕文刚,2009;饶玉燕,2009;曲伟伟,2011;倪文龙,2011;张哲,2011;傅辽,2012;吕文诚,2012;马兴莉,2013;方焱,2014),研究表明上述 4 种软件和模型均可用于有害生物潜在地理分布研究,将 CLIMEX 与 ArcGIS 或其他地理信息系统(Geographical Information System, GIS)软件相结合开展有害生物潜在地理分布研究则更具优势。

参考文献

1. 方焱. 南亚果实蝇入侵我国的定量风险评估研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2014.
2. 傅辽. 中美洲重要粉蚧类害虫在中国的适生性研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2012.
3. 耿建. 墨西哥按实蝇与苹果实蝇在中国的适生性研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2008.
4. 孔令斌. 基于两种模型的橘小实蝇和瓜实蝇的适生性分析. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2008.
5. 刘静远. 杏小食心虫在中国的适生性分析及其分类地位探讨. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2008.
6. 卢小雨. 亚洲型舞毒蛾在北美地区适生性的研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文

文, 2009.

7. 吕文诚. 葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2012.

8. 吕文刚. 枣实蝇与番石榴果实蝇在中国的适生性研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2009.

9. 马兴莉. 东盟重要经济实蝇入侵我国的定量风险分析. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2013.

10. 倪文龙. 番石榴果实蝇适生性分析及防控措施初步研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2011.

11. 曲伟伟. 橡胶树棒孢霉落叶病适生性的研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2011.

12. 饶玉燕. 昆士兰果实蝇和澳洲果实蝇的适生性研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2009.

13. 王宁波. 实蝇适生性分析技术模式及疫情监测快速反应系统的研究. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2008.

14. 曾辉. 两种方法对橡胶南美叶疫病菌的适生性分析. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2008.

15. 张哲. 基于 CLIMEX 的苹果实蝇类害虫在中国的适生性研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2011.

第三节 重要经济实蝇潜在地理分布研究进展

针对重要经济实蝇的潜在地理分布, 国内外学者采用 CLIMEX 软件的地点比较模型、DIVA-GIS 软件及 BIOCLIM 和 DOMAIN 模型、Maxent 软件及模型、GARP 软件及模型、ArcGIS 及自建的生长发育模型等开展了诸多研究工作, 涉及包括地中海实蝇、昆士兰果实蝇、橘小实蝇、瓜实蝇、油橄榄果实蝇等 10 余种重要种类, 其中以 CLIMEX 软件的地点比较模型研究为主。

2002 年, Vera 等使用 CLIMEX 地点比较模型预测了地中海实蝇在全球的潜在地理分布 (Vera 等, 2002)。随后, 陆续有学者使用 CLIMEX 地点比较模型预测了橘小实蝇 (Stephens 等, 2007; 王俊伟等, 2010)、枣实蝇 (吕文刚等, 2008, 2009; 何善勇, 2011)、墨西哥按实蝇 (耿建等, 2008)、瓜实蝇 (孔令斌等, 2008)、蜜柑大实蝇 (王俊伟等, 2009)、昆士兰果实蝇 (饶玉燕等, 2009)、宽带果实蝇 (倪文龙等, 2009)、番木瓜长尾实蝇 (曲伟伟等, 2009)、苹绕实蝇 (Geng 等, 2010)、番石榴果实蝇 (吕文刚等, 2010)、纳塔耳小条实蝇 (张哲等, 2011)、橘实锤腹实蝇 (倪文龙等, 2010)、桃果实蝇 (余慧等, 2011; Ni 等, 2012)、西印度按实蝇 (Fu 等, 2014) 等在不同国家和(或)地区的潜在地理分布。其中, 橘小实蝇、瓜实蝇、昆士兰果实蝇、枣实蝇、番石榴果实蝇等的潜在地理分布研究中同时使用了 DIVA-GIS 软件和 BIOCLIM 模型。

另有学者使用 Maxent 软件及模型预测了葫芦寡鬃实蝇、埃塞俄比亚寡鬃实蝇、西瓜寡鬃实蝇 (李白尼等, 2009)、黑羽小条实蝇 (李白尼等, 2009)、入侵果实蝇 (De Meyer 等, 2010)、油橄榄果实蝇 (张雪等, 2011)、橘小实蝇 (Liu 等, 2010; Liu 等, 2011) 等的潜在地理分布。还有学

者使用 GARP 软件及模型预测了橘小实蝇(周国梁等,2007)、地中海实蝇和纳塔耳小条实蝇(De Meyer 等,2008)、入侵果实蝇(De Meyer 等,2010)、油橄榄果实蝇(张雪等,2011)等的潜在地理分布。此外,也有学者使用了自建生长发育模型预测橘小实蝇(詹开瑞等,2006;Wang 等,2012)、瓜实蝇(李伟东等,2008;Li 等,2013)等在我国潜在地理分布。

截至目前,国内外针对一些实蝇种类的潜在地理分布进行了初步研究,但涉及种类数量比较少、方法较多样、报道较分散。随着全球气候变化的发展、国际贸易及国内调运的发展、实蝇地理分布的变化、实蝇种类的调整等,亟须针对重要经济实蝇在我国的潜在地理分布进行系统性的研究,以明确其在我国当前及未来气候条件下的适生范围和适生程度,在此基础上进一步提出重要经济实蝇入侵我国的防控措施建议,为我国植物检疫等生物入侵防控部门提供决策支持。本研究对有害生物定量风险评估技术探索、重要农林害虫潜在地理分布预测技术示范以及重要经济实蝇入侵防控决策等具有理论和应用意义。

参考文献

1. 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(4): 93-98.
2. 何善勇,朱银飞,阿地力·沙塔尔,等. 枣实蝇在中国的风险评估. 林业科学, 2011(3): 107-116.
3. 孔令斌,林伟,李志红,等. 基于 CLIMEX 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.
4. 李白尼,马骏,侯柏华,等. 基于生态位模型的番荔枝实蝇潜在适生性分布预测(英文). 环境昆虫学报, 2009, 20(4): 291-299.
5. 李白尼,魏武,马骏,等. 基于最大熵值法生态位模型(Maxent)的三种实蝇潜在适生性分布预测(英文). 昆虫学报, 2009, 52(10): 1122-1131.
6. 李伟东,肖琼,艾洪木,等. 瓜实蝇的有效积温及其在中国的年发生代数预测. 华东昆虫学报, 2008, 16(3): 188-193.
7. 吕文刚,邓裕亮,李志红,等. 番石榴果实蝇在我国的潜在地理分布. 植物保护学报, 2010, 37(6): 529-534.
8. 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.
9. 吕文刚,李志红,林伟,等. 基于 DYMEX 和 DIVA-GIS 的枣实蝇在我国适生性分析及其比较. 中国生物防治, 2009, 25(增 2): 51-60.
10. 倪文龙,陈洪俊,曲伟伟,等. 基于 CLIMEX 的橘实锤腹实蝇在中国的适生性分析. 植物检疫, 2010, 24(4): 20-25.
11. 倪文龙,李志红,万方浩,等. 具条实蝇在中国的适生性研究. 中国生物防治, 2009, 25(增 2): 61-67.
12. 曲伟伟,李志红,万方浩,等. 番木瓜长尾实蝇在我国适生性的初步研究. 中国生物防治, 2009, 25(增 2): 68-73.
13. 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.

14. 王俊伟, 次仁桑珠, 余道坚, 等. 橘小实蝇在西藏自治区的适生性研究. 西南农业学报, 2010, 25(4): 1116-1120.
15. 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.
16. 余慧, 文艺, 张俊华, 等. 桃实蝇在西藏的适生性分析. 植物保护, 2011, 48(2): 76-80.
17. 詹开瑞, 赵士熙, 朱水芳, 等. 橘小实蝇在中国的适生性研究. 华南农业大学学报, 2006(4): 21-25.
18. 张雪, 李白尼, 魏武, 等. 外来入侵害虫橄榄果蝇 *Bactrocera oleae* 在中国的适生区预测. 中山大学学报(自然科学版), 2011, 50(1): 89-91.
19. 张哲, 李志红, 万方浩, 等. 利用 CLIMEX 预测纳塔尔实蝇在中国的潜在地理分布. 生物安全学报, 2011, 20(1): 43-49.
20. 周国梁, 陈晨, 叶军, 等. 利用 GARP 生态位模型预测橘小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 在中国的适生区域. 生态学报, 2007, 26(8): 3362-3369.
21. De Meyer M, Mansell M P, Ekesi S M W. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae). Bulletin of Entomological Research, 2010, 100(1): 35-48.
22. De Meyer M, Peterson M P, Mansell A T. Ecological niches and potential geographical distributions of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) and Natal fruit fly (*Ceratitis rosa*). Journal of Biogeography, 2008, 35(2): 270-281.
23. Fu L, Li Z H, Huang G S, et al. The current and future potential geographic range of West Indian fruit fly, *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). Insect Science, 2014, 21: 234-244.
24. Geng J, Li Z H, Rajotte E G, et al. Potential geographical distribution of *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) in China. Insect Science, 2011, 18: 575-582.
25. Li Z M, Wang N B, Wu J J, et al. The potential geographical distribution of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in China based on eclosion rate model and ArcGIS// International Federation for Information Processing, 2013. Computer and Computing Technologies in Agriculture 2012, Part II, IFIP AICT 393, 334-342.
26. Liu J H, Xiong X Z, Pan Y Z. Potential Geographic Distribution of Oriental Fruit Fly in Jiangxi Province. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(6): 155-158.
27. Liu J H, Xiong X Z, Pan Y Z, et al. Predicting potential distribution of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* in Jiangxi Province, South China based on maximum entropy model. Scientific Research and Essays, 2011, 6(14): 2888-2894.
28. Ni W L, Li Z H, Chen H J, et al. Including climate change in pest risk assessment: the peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae). Bulletin of Entomological Research, 2012, 102: 173-183.
29. Stephens A E A, Kriticos D J, Leriche A. The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae).