

利用 CLIMEX 预测纳塔尔实蝇在中国的潜在地理分布

张哲¹, 李志红¹, 万方浩², 倪文龙¹, 曲伟伟¹

¹ 中国农业大学农学与生物技术学院昆虫系; ² 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193

摘要: 纳塔尔实蝇 *Ceratitis rosa* Karsch 属双翅目实蝇科腊实蝇属, 为害 30 余种经济植物, 被我国列为进境植物检疫性有害生物。本研究运用 CLIMEX 3.0 及 ArcGIS 9.3 对纳塔尔实蝇在我国目前及未来的潜在地理分布进行了预测。结果显示: 在目前的气候条件下, 纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布区为 18.250°N ~ 30.250°N, 其中, 华南和东南地区为高度潜在地理分布区, 包括四川、重庆、云南、福建、广东、广西、海南以及台湾等地。在未来的气候条件下, 2020 和 2050 年潜在地理分布区的北界分别移至 31.250°N 和 32.250°N, 且中度潜在地理分布区北移明显; 2100 年潜在地理分布区的北界移至 33.750°N, 且高度适生区北移明显。因此建议目前应加强纳塔尔实蝇检疫措施, 完善监测体系, 监测网点主要设在我国的南方地区, 尤其应对云南、广西、广东、福建和海南等地进行长期监测; 同时, 应对湖南、贵州、江西、湖北、江苏、安徽等省进行定期监测, 严防该虫入侵。

关键词: 纳塔尔实蝇; 潜在地理分布; CLIMEX; ArcGIS

Prediction of the potential geographic distribution of *Ceratitis rosa* Karsch in China

Zhe ZHANG¹, Zhi-hong LI¹, Fang-hao WAN², Wen-long NI¹, Wei-wei QU¹

¹ Department of Entomology, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University;

² State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100193, China

Abstract: *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera: Tephritidae) can damage over 30 species host plants, and is one of the import quarantine pests by China. The current and future potential geographic distribution of *C. rosa* were predicted by using CLIMEX 3.0 and ArcGIS 9.3. The results showed that the current potential geographic distribution areas were between 18.250°N ~ 30.250°N, the geographic distribution areas with high potential were southeastern and southern China, including Sichuan, Chongqing, Yunnan, Fujian, Guangdong, Guangxi, Hainan and Taiwan. For the future potential geographic distribution in 2020, 2050 and 2100, it was predicted that the northern boundary of the potential geographic distribution areas moved to 31.250°N, 32.250°N and 33.750°N respectively, the medium potential geographic distribution areas moved northwards obviously in 2020 and 2050, the high potential geographic distribution areas moved northwards obviously in 2100. Therefore, in order to prevent the invasion of *C. rosa*, the quarantine and monitor measures should be enhanced more in China, the mainly monitoring network should be in south of China, particularly in Yunnan, Guangxi, Guangdong, Fujian and Hainan, and carry on the long-term monitoring. In view of the future potential geographic distribution of *C. rosa* in China, we should be regular monitoring in Hunan, Guizhou, Jiangxi, Hubei, Jiangsu, Anhui.

Key words: *Ceratitis rosa*; potential geographic distribution; CLIMEX; ArcGIS

纳塔尔实蝇 *Ceratitis rosa* Karsch, 又名纳塔尔小条实蝇、非洲腊实蝇, 属双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 腊实蝇属 *Ceratitis* (吴佳教等, 2009)。腊实蝇属被列入《中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录》(2007)。纳塔尔实蝇是重要的果蔬害虫, 原产于非洲, 现分布于非洲中南部以及印度洋地区的毛里求斯、留尼汪等地(刘瑞祥等, 1996)。

为多食性害虫, 柑橘和咖啡是其喜食寄主(陈乃中, 2009)。我国尚无纳塔尔实蝇的分布报道, 但在口岸检疫中截获过该实蝇幼虫(刘瑞祥等, 1996)。因此, 研究纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布, 对科学制定检疫措施并防止其入侵具有重要意义。近年来, 国内外主要采用 CLIMEX 软件对经济性实蝇的潜在地理分布进行预测(倪文龙等, 2010; 王俊伟

等,2009;Kriticos *et al.*,2007;Vera *et al.*,2002;Stephens *et al.*,2007)。本研究在收集、整理和分析已报道的纳塔尔实蝇地理分布及生物学等资料的基础上,采用 CLIMEX 模型和 ArcGIS 的插值功能对该虫在我国目前及未来的潜在地理分布进行预测。

1 材料与方法

1.1 基础资料

1.1.1 已知地理分布 1887 年,在从莫桑比克的德拉瓜湾收集的标本中发现了纳塔尔实蝇。1900 年,在南非共和国的纳塔尔省,该虫被认为是水果害虫。1953 年,该虫传入毛里求斯并在当地建立种群,危害程度已超过地中海实蝇 *C. capitata* (Weems & Fasulo,2002)。1955 年,在留尼汪第一次监测到纳塔尔实蝇(Duyck *et al.*,2006)。据报道,纳塔尔实蝇目前分布在安哥拉、刚果、埃塞俄比亚、几内亚、肯尼亚、马拉维、马里、毛里求斯、莫桑比克、尼日尔、尼日利亚、卢旺达、留尼汪、南非、斯威士兰、坦桑尼亚、乌干达、赞比亚、津巴布韦等地(吴佳教等,2009;陈乃中,2009;Copeland *et al.*,2006;Permalloo *et al.*,1998;Grove *et al.*,2009;Mwatawala *et al.*,2009;王伍等,1998;Hancock 和梁广勤,1985)。

1.1.2 生物学特性 Duyck & Quilici (2002) 研究表明,纳塔尔实蝇卵、幼虫、蛹和成虫的发育起始温度分别为 9.8、3.1、11.0 和 8.0 °C,各阶段发育的有效积温分别为 35、223、147 和 138 DD。Grout & Stoltz (2007) 研究发现,纳塔尔实蝇卵、幼虫、蛹和成虫的发育起始温度为 8.8、10.9、7.2 和 5.9 °C,并指出 8.6 °C 为该虫发育的起点温度,27.7 °C 为该虫发育的最适温度,33.0 °C 为该虫发育的限制高温,其各阶段发育的有效积温分别为 33.5、90.3、190.1、135.5 DD,并认为该虫的有效积温为 429.2 DD。

另据报道,纳塔尔实蝇比马斯卡林实蝇 *C. catotirii*、地中海实蝇和桃实蝇 *Bactrocera zonata* 更能在湿冷的地方生存,蛹到成虫的最适温度为 25 °C。在海拔 100 ~ 200 m、温度 23 °C 以下时纳塔尔实蝇是优势种。在相对湿度 100% 时,纳塔尔实蝇羽化率较高(80%);在相对湿度 30% 时,蛹全部死亡;蛹对浸水的耐受力也弱,经过 1 d 的浸水处理后,蛹全部死亡(Duyck *et al.*,2006)。

1.1.3 寄主与危害 纳塔尔实蝇的寄主植物有柑橘 *Citrus reticulata* Banco、咖啡 *Coffea*、苹果 *Malus*

pumila、番石榴 *Psidium guajava*、草莓番石榴 *Psidium littorale* Raddi、芒果 *Mangifera indica*、桃 *Prunus persica*、杨桃 *Averrhoa carambola*、西洋梨 *Pyrus communis*、鳄梨 *Persea americana*、葡萄 *Vitis vinifera*、杏 *Prunus armeniaca*、无花果 *Ficus carica*、荔枝 *Litchi chinensis*、甜橙 *Citrus sinensis*、来檬 *Citrus aurantifolia*、洋李 *Prunus domestica*、牛心番荔枝 *Annona reticulata*、枇杷 *Eriobotrya japonica*、蒲桃 *Syzygium jambos*、马六甲蒲桃 *Syzygium malaccense*、海南蒲桃 *Syzygium hainanensis*、枣红果仔、榄仁树 *Terminalia catappa*、倒捻子 *Garcinia multiflora*、大果假虎刺、番茄 *Lycopersicon esculentum*、辣椒 *Capsicum annum*、番木瓜 *Carica papaya*、人心果 *Manilkara zapota* 以及野生茄属等(吴佳教等,2009;陈乃中,2009)。

纳塔尔实蝇主要以幼虫在果实内取食为害(陈乃中,2009)。在津巴布韦,该实蝇被认为具有经济重要性(Weems & Fasulo,2002;梁广勤,1985)。在南非,1990 年曾报道因该虫的危害,鳄梨果实被害率为 1.9% (Dennill & Erasmus,1992)。目前,该虫的危害程度仅次于地中海实蝇(Grout & Stoltz,2007)。另有报道显示,在同时存在地中海实蝇和纳塔尔实蝇的国家,纳塔尔实蝇的危害程度有可能取代地中海实蝇(EPPO,2007)。

1.1.4 气候数据 本研究在 CLIMEX 自带的 1961 ~ 1990 年全球约 2500 个气象站点数据集的基础上,导入了 East Anglia 大学气候研究组的 TYN5C 2.0 数据集(由澳大利亚联邦科学与工业研究组织 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 的 Kriticos 博士提供)。该数据集以 0.5° (纬度) × 0.5° (经度) 栅格将全球陆地气候网格化,包括 1961 ~ 1990 年月平均降雨量、月平均温度、每日温度范围和蒸汽压等环境变量。通过这些变量,分别推算出 1961 ~ 1990 年每月日最高温平均值、日最低温平均值以及每月 09:00 ~ 15:00 的相对湿度平均值(Stephens *et al.*,2007)。

秦大河等(2005)对我国未来气候做了如下预测:与 1961 ~ 1990 年相比,2020 年平均气温将增加 1.3 ~ 2.1 °C,平均降雨量将增加 2% ~ 3%;2050 年平均气温将增加 2.3 ~ 3.3 °C,平均降雨量将增加 5% ~ 7%;2100 年平均气温将增加 3.9 ~ 6.0 °C,平均降雨量将增加 11% ~ 17%。

1.1.5 地理数据 根据欧洲和地中海地区植保组

织 (EPPO) 发布的资料,结合国内外相关文献,明确了纳塔尔实蝇在全球的地理分布情况。电子地图 (比例尺 1: 400 万) 来源于中国基础地理信息系统网站和中国农业科学院植物保护研究所。

1.2 分析工具与方法

本研究采用 CLIMEX 3.0 的地点比较模型,结合 ArcGIS 9.3 的插值功能进行潜在地理分布预测。因为该实蝇寄主广泛,所以在本研究中不考虑寄主的影响,结果用 EI 表示。 EI 的分级评判标准: $EI = 0$ 为潜在地理分布区, $0 < EI \leq 10$ 为低度潜在地理分布区, $10 < EI \leq 20$ 为中度潜在地理分布区, $EI >$

20 为高度潜在地理分布区 (Sutherst *et al.* , 2004; Sutherst & Maywald, 2005)。

1.3 CLIMEX 参数值

CLIMEX 共预设了 42 个生物学参数,根据纳塔尔实蝇的实际地理分布和生物学资料,选取其危害严重的地区 [肯尼亚 (Copeland *et al.* , 2006)、津巴布韦 (Hancock 和梁广勤, 1985) 和南非 (Grout & Stoltz, 2007)] 为参照点,反复调试参数,使其分布范围最大程度地与实际相吻合。经过调试,本研究选用 17 个参数项,并确定了其参数值 (表 1)。

表 1 纳塔尔实蝇的地点比较模型参数

Table 1 Model parameters to estimate location suitability conditions for *C. rosa* in China.

CLIMEX 参数描述 CLIMEX parameter description	参数值 Parameter value
DV0 发育起点温度 lower threshold temperature	8.6000 °C
DV1 适宜温度下限 lower optimum temperature	22.0000 °C
DV2 适宜温度上限 upper optimum temperature	28.0000 °C
DV3 发育最高温度 upper threshold temperature	33.0000 °C
PDD 有效积温 degree-days necessary to complete one generation	429.0000 DD
SM0 发育需要的最低土壤湿度 lower threshold of soil moisture	0.3000
SM1 适宜发育的土壤湿度下限 lower limit of optimum soil moisture	0.4000
SM2 适宜发育的土壤湿度上限 upper limit of optimum soil moisture	1.2000
SM3 发育需要的土壤最高湿度 upper threshold of soil moisture	1.6000
TTCS 冷胁迫开始积累的阈值 cold stress temperature threshold	7.0000 °C
THCS 冷胁迫积累速率 cold stress accumulation rate	-0.0030
TTHS 热胁迫开始积累的阈值 heat stress temperature threshold	35.0000 °C
THHS 热胁迫积累速率 heat stress accumulation rate	0.0001
SMDS 干胁迫开始积累的阈值 dry stress soil moisture threshold	0.3000
HDS 干胁迫积累速率 dry stress accumulation rate	-0.0005
SMWS 湿胁迫开始积累的阈值 wet stress soil moisture threshold	1.6000
HWS 湿胁迫积累速率 wet stress accumulation rate	0.0002

2 结果与分析

2.1 目前气候条件下纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布

利用上述 CLIMEX 参数值、潜在地理分布评判标准和 ArcGIS 插值功能,将预测得到的 EI 进行插值分析,得到纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布。结果显示,该实蝇在我国的潜在地理分布区为 $18.250^{\circ}\text{N} \sim 30.250^{\circ}\text{N}$ 。高度潜在地理分布区主要为华南和东南地区,包括广东、广西、海南大部分地区、福建东南部、贵州零星地区、云南南部、四川东南部、重庆西部、台湾大部分地区;中度潜在地理分布区主要为四川东部、贵州南部、云南中部、江西南部、福建西部;低度潜在地理分布区主要为四川西部、云南北部、贵州中北部、湖南中南部、江西中部、福建北部、浙江东南部等地区;而非潜在地理分布区为黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、河北、北京、天津、山东、山西、河

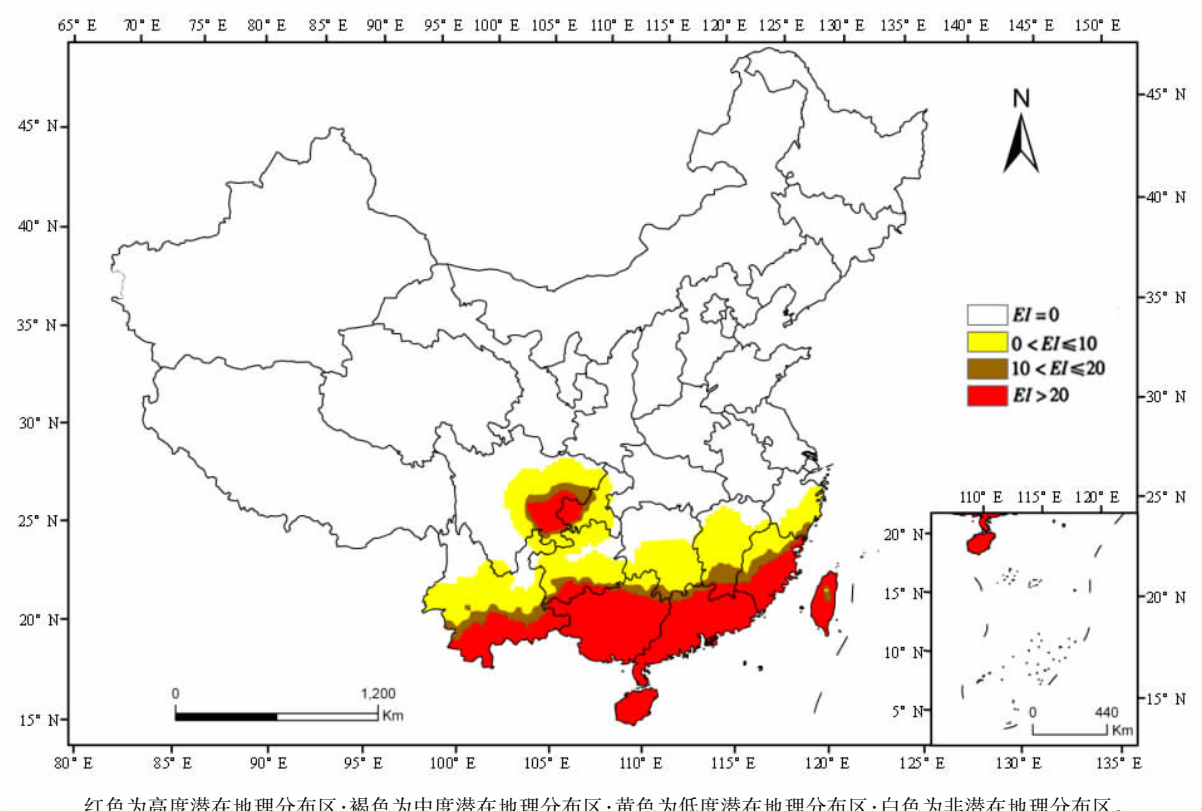
南、安徽、江苏、上海、陕西、湖北、青海、新疆、西藏等 19 个省 (自治区) 全境以及贵州、湖南、江西、四川、云南、浙江等的部分地区 (图 1)。

2.2 未来气候条件下纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布

在已确定的 CLIMEX 参数的基础上,通过选择气候变化模式并结合未来气候变化参数,预测了纳塔尔实蝇未来的潜在地理分布 (图 2)。

从图 2 可以看出,随着气候的变化,纳塔尔实蝇的潜在地理分布区逐渐向北扩展,其高度潜在地理分布区的扩展最为明显,扩展范围也较大。与该实蝇目前的潜在分布图相比,2020 年潜在地理分布区北界移至 31.250°N ,中度潜在地理分布区向北扩展明显,已扩展到湖南中东部和江西中部地区 (图 2A);2050 年潜在地理分布区北界移至 32.250°N ,中度潜在地理分布区向北扩展更加明显,已扩展到浙

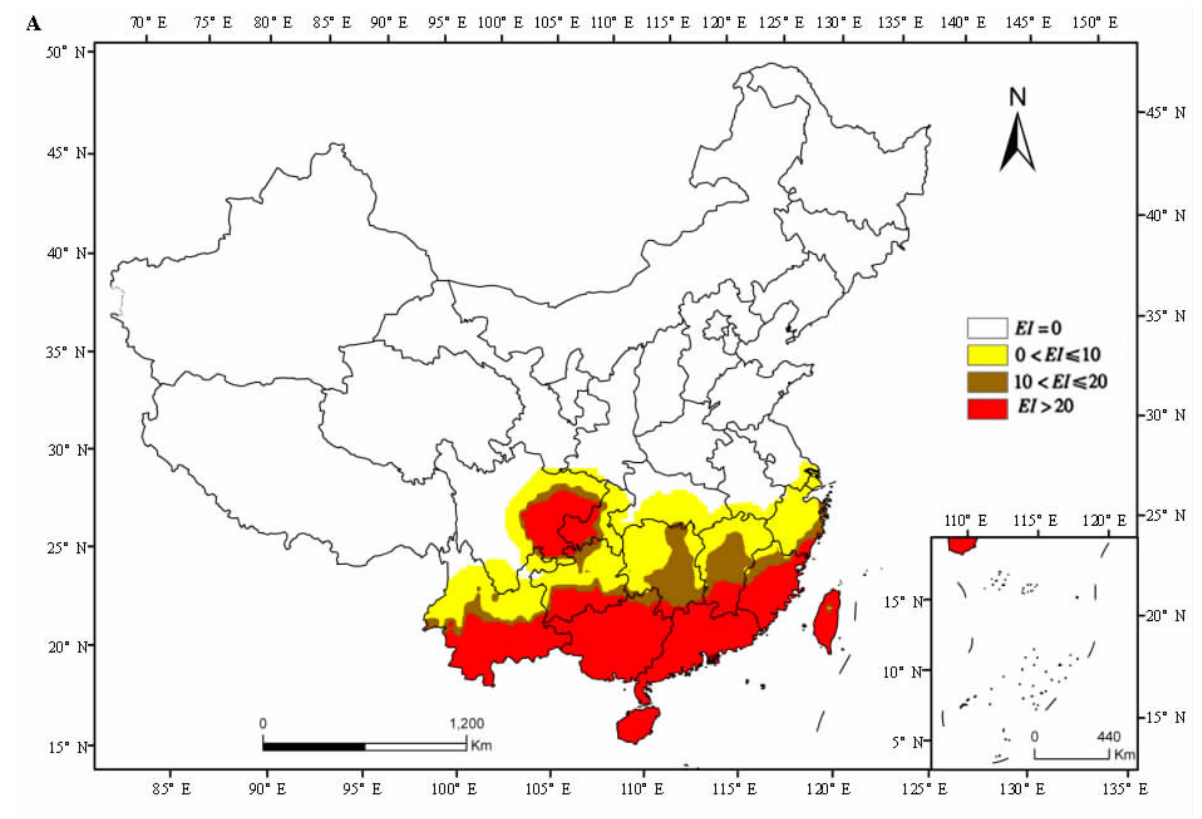
江中部、湖北南部和上海大部分地区(图 2B);2100 甘肃、陕西、河南、山东等地,高度潜在地理分布区向北扩展明显,已扩展到安徽、江苏等地(图 2C)。

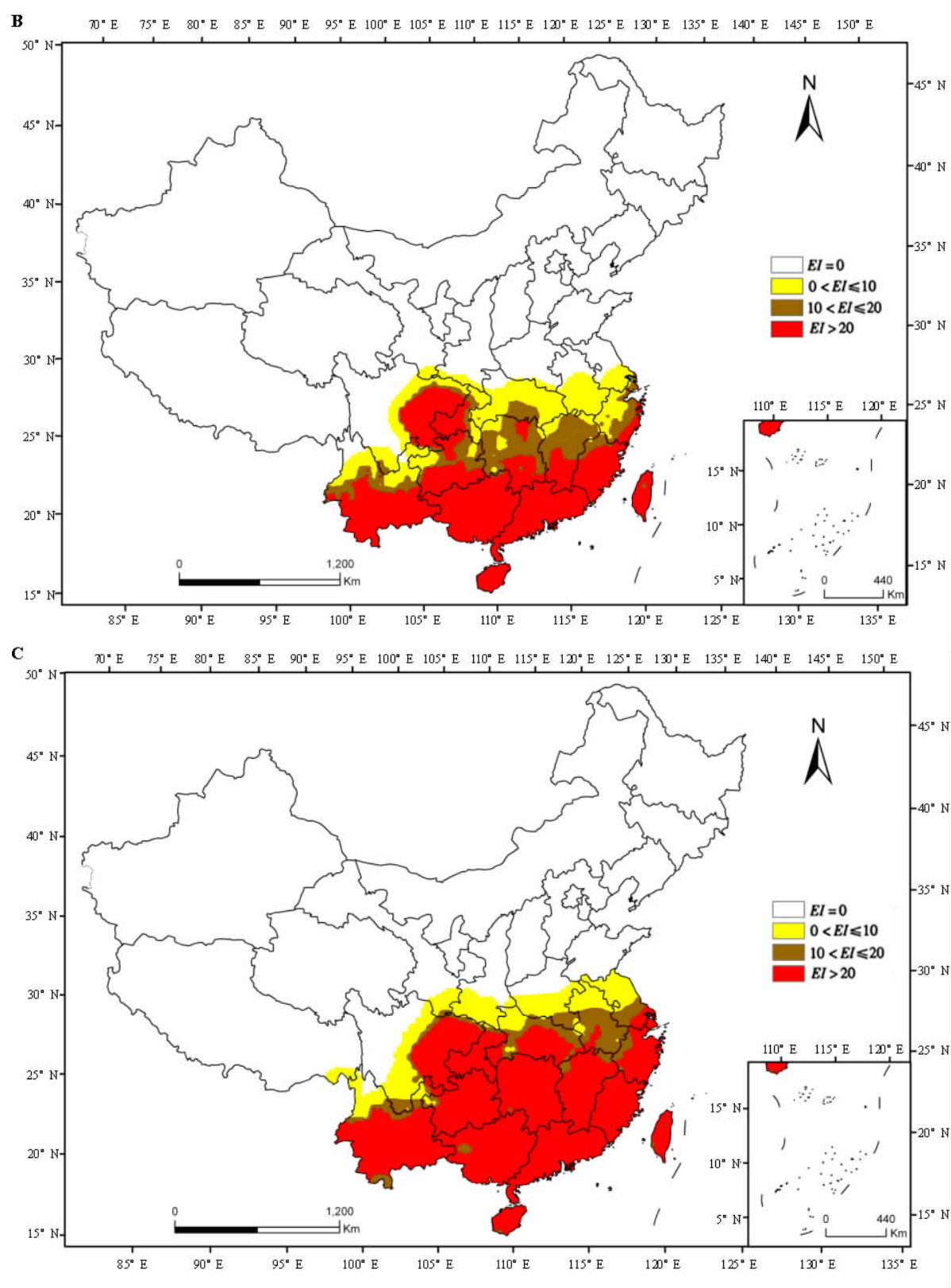


红色为高度潜在地理分布区;褐色为中度潜在地理分布区;黄色为低度潜在地理分布区;白色为非潜在地理分布区。
The areas marked in red indicate high risk, the brown areas medium risk, and the yellow low risk, white areas are unsuitable for establishment, (no risk).

图 1 地点比较模型预测纳塔尔实蝇目前在中国的潜在地理分布

Fig. 1 The current potential geographic distribution of *C. rosa* in China, according to the CLIMEX suitability model





A.2020 年;B.2050 年;C.2100 年。
红色为高度潜在地理分布区;褐色为中度潜在地理分布区;黄色为低度潜在地理分布区;白色为非潜在地理分布区。
The areas marked in red indicate high risk, the brown areas medium risk, and the yellow low risk,
white areas are unsuitable for establishment, (no risk).

图 2 地点比较模型预测纳塔尔实蝇未来在我国潜在地理分布
Fig.2 The future potential geographic distribution of *C.rosa* in China, according to the CLIMEX suitability model

3 讨论

3.1 软件的应用

CLIMEX 可以通过物种的已知地理分布及发生数量来估计所需要的气候条件,或者直接使用物种生长发育的生物学数据,并通过该物种已知的分布区来确定某一地区的生态气候指数(EI),并以EI来描述该物种对某一地区的综合适合度(贾文明等,2005)。由于CLIMEX只能进行点预测,采用ArcGIS的插值分析完成了潜在地理分布区由点到面的转化。

3.2 未来气候对该实蝇潜在地理分布的影响

随着温室气体的排放,21世纪全球气候将继续明显变暖,在我国尤以冬半年、北方最为明显(秦大河等,2005)。鉴于此,本研究分别预测了2020、2050和2100年纳塔尔实蝇在我国的潜在地理分布。结果表明,随着气候的变化,该实蝇的潜在地理分布区逐渐向北扩展。可见,气候变化对该实蝇在我国的潜在地理分布影响较大,2020和2050年其中度潜在地理分布区向北扩展明显,2100年其高度潜在地理分布区向北扩展尤为明显。

3.3 管理措施

结果表明,我国南方大部分地区是纳塔尔实蝇的潜在地理分布区,适生程度普遍较高。一旦纳塔尔实蝇传入并扩散,将对我国的经济贸易造成重大影响。因此,笔者认为应加强3个方面的工作。(1)检疫措施。在相关果品的进口贸易中,特别是对从非洲,如南非、津巴布韦等地区进口的果品,植物检疫部门应进一步严格执行检疫许可、预检、现场查验、除害处理及检疫监管等措施。(2)疫情监测。建议将监测网点主要设在我国南方地区,尤其是云南、广西、广东、福建、海南和台湾等地,应注意进行长期监测(图1);并对湖南、贵州、江西、湖北、江苏、安徽等省进行定期监测(图2)。应对监测数据及时记录、统计、分析并上报主管部门,形成针对纳塔尔实蝇疫情的实时监控体系。(3)检疫教育。建议在该实蝇的高度潜在地理分布区,如广东、广西、云南、福建、海南和台湾等地,开展有关该实蝇的检疫宣传,加强公共教育,进一步提高各级管理部门以及公众对纳塔尔实蝇检疫重要性的认识。

参考文献

- 陈乃中. 2009. 中国进境植物检疫性有害生物(昆虫卷). 北京:中国农业出版社.
- 贾文明,周益林,丁胜利,段霞瑜. 2005. 外来有害生物风险分析的方法和技术. 西北农林科技大学学报:自然科学版,33(S1):195-200.
- 刘瑞祥,汪万春,杨德泉. 1996. 在旅检中首次截获纳塔尔小条实蝇. 植物检疫,(2):111-112.
- 倪文龙,陈洪俊,曲伟伟,万方浩,阿梅,普仓,李志红. 2010. 基于CLIMEX的橘实锤腹实蝇在中国的适生性分析. 植物检疫,(4):20-25.
- 农业部. 2007-05-29. 第862号公告. 中华人民共和国进境植物检疫性有害生物名录.
- 秦大河,陈宜瑜,李学勇. 2005. 中国气候与环境演变(上卷). 北京:科学出版社.
- 王俊伟,李志红,陈洪俊,耿建,王之岭,万方浩. 2009. 蜜柑大实蝇在中国的适生性研究. 植物检疫,(1):1-4.
- 王伍,韩长录,罗思云. 1998. 两种危险性实蝇——纳塔尔实蝇和番荔枝实蝇. 植物检疫,(3):162-164.
- 吴佳教,梁帆,梁广勤. 2009. 实蝇类重要害虫鉴定图册. 广州:广东科技出版社.
- EPPO. 2010. *Ceratitis rosa*. <http://www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm>.
- Copeland R S, Wharton R A, Luke Q, Meyer M D, Lux S, Zenz N, Machera P and Okumu M. 2006. Geographic distribution, host fruit, and parasitoids of African fruit fly pests *Ceratitis anonae*, *Ceratitis cosyra*, *Ceratitis fasciventris*, and *Ceratitis rosa* (Diptera: Tephritidae) in Kenya. *Annals of the Entomological Society of America*,99:261-278.
- Dennill G B and Erasmus M J. 1992. The insect pests of avocado fruits-increasing pest complex and changing pest status. *Journal of Entomological Society of Southern Africa*, 55: 51-57.
- Duyck P F and Quilici S. 2002. Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera:Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research*,92:461-469.
- Duyck P F, David P and Quilici S. 2006. Climatic niche partitioning following successive invasions by fruit flies in La Reunion. *Journal of Animal Ecology*,75:518-526.
- Grout T G and Stoltz K C. 2007. Developmental rates at constant temperatures of three economically important *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) from Southern Africa. *Environmental Entomology*,36:1310-1317.
- Grove T, Beer M S and Joubert P H. 2009. Monitoring fruit

- flies in mango orchards in South Africa and determining the time of fruit infestation. *Acta Horticulturae*, 820:589 – 596.
- Hancock D L, 梁广勤. 1985. 津巴布韦几种经济上重要的实蝇. 植物检疫, (6):51 – 53.
- Kriticos D J, Stephens A E A and Leriche A. 2007. Effect of climate change on oriental fruit fly in New Zealand and the Pacific. *New Zealand Plant Protection*, 60:271 – 278.
- Mwatawala M W, Meyer M, Makundi R H and Maerere A P. 2009. Host range and distribution of fruit-infesting pestiferous fruit flies (Diptera: Tephritidae) in selected areas of Central Tanzania. *Bulletin of Entomological Research*, 99: 629 – 641.
- Permalloo S, Seewooruthun S I, Joomaye A, Soonnoo A R, Gungah B, Unmole L and Boodram R. 1998. An area wide control of fruit flies in Mauritius// Food and Agricultural Research Council. *Proceedings of the Second Annual Meeting of Agricultural Scientists*. Mauritius, Reduit, 203 – 210.
- Stephens A E A, Kriticos D J and Leriche A. 2007. The current and future potential geographic distribution of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 97:369 – 378.
- Sutherst R W, Maywald G F, Bottomley W and Bourne A. 2004. *CLIMEX v2 CD and User's Guide*. Melbourne: Hearne Scientific Software PtyLtd.
- Sutherst R W and Maywald G F. 2005. A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): implications for invasion of new regions, particularly Oceania. *Environmental Entomology*, 34:317 – 335.
- Vera M T, Rodriguez R, Segura D F, Cladera J L and Sutherst R W. 2002. Potential geographical distribution of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), with emphasis on Argentina and Australia. *Environmental Entomology*, 31:1009 – 1022 .
- Weems H V and Fasulo T R. 2010. Natal fruit fly, Natal fly, *Ceratitidis rosa* Karsch (Insecta: Diptera: Tephritidae). <http://if-srvv-edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN53800.pdf>.