

螺旋粉虱在中国的适生区预测与风险区划

李伟东¹ 虞国跃² 周卫川^{3*}

(1. 海南出入境检验检疫局, 海口 570311; 2. 北京市农林科学院, 北京 100097;
3. 福建出入境检验检疫局, 福州 350001)

摘要: 螺旋粉虱 *Aleurodicus dispersus* Russell 是新入侵中国海南的危险性害虫。根据制约螺旋粉虱分布的关键气候因子临界值、有效积温和生物气候相似距, 选用 Access 设计数据库、MapInfo MapX 和 Visual Basic 设计程序, 构建螺旋粉虱地理分布模型 (geographic distribution model for *A. dispersus*, GDMAD), 并以我国 670 个气象站点 30 年的气象资料运行该模型。结果表明: 螺旋粉虱在中国的适生区主要包括以广东、广西为中心的 1 个大区和以四川盆地为中心的 1 个小区。螺旋粉虱在上述适生区可以安全越冬, 1 年发生 4~12 代, 以 6~9 代为主。其中, 高度危险区主要包括台湾、海南、广东、广西的大部、福建东南部以及江西、云南的个别地区, 面积约 38.84 万 km²; 危险区主要包括浙江南部、江西中南部、湖南南部、福建大部、广西北部、云南中南部、四川东南部、贵州南部以及广东、湖北、台湾的个别地区, 面积约 85.70 万 km²; 轻度危险区主要包括四川、云南、贵州、湖南、江西、浙江等气温较低的部分地区和广东、海南、台湾等降水量过大的个别地区, 面积约 35.12 万 km²。

关键词: 螺旋粉虱; 适生性; 风险区划; 预测模型; 中国

Prediction of suitable regions and risk subdivisions of spiralling whitefly, *Aleurodicus dispersus* Russell, in China

Li Weidong¹ Yu Guoyue² Zhou Weichuan^{3*}

(1. Hainan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Haikou 570311, Hainan Province, China; 2. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Fujian Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Fuzhou 350001, Fujian Province, China)

Abstract: The spiralling whitefly, *Aleurodicus dispersus* Russell, is a newly discovered invasive pest in Hainan Province of China. A geographic distribution model for *A. dispersus* (GDMAD) is established with Access Database Design, MapInfo MapX and Visual Basic Design Process, based on the critical value of key climatic factors of the pest distribution, effective accumulated temperature and bioclimate analogical distance (BAD). The meteorological data of 30 years duration from 670 stations in China were used to run GDMAD. The model predicts that the suitable areas for the survival of *A. dispersus* in China contained a large area centered on Guangdong and Guangxi and a small area on Sichuan Basin where the spiralling whitefly can overwinter. Of which, high-risk regions include the major areas (about 388 400 km²) of Hainan, Guangdong, Taiwan and Guangxi, and part of the Fujian, Jiangxi and Yunnan. Risk regions (about 857 000 km²) include southern Zhejiang, central and southern Jiangxi, southern Hunan, most of Fujian, northern Guangxi, central and southern Yunnan, southeastern Sichuan, southern Guizhou, and a small portion of Guangdong, Hubei and Taiwan. Low-risk regions (about 351 200 km²) include cool

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAD48B01), 农业部行业专项(200803023), 福建省科技重大专项(2006NZ0002-2)

作者简介: 李伟东, 男, 1963 年生, 高级农艺师, 研究方向为外来有害生物风险评估, email: leewdg@yahoo.com.cn

* 通讯作者 (Author for correspondence), email: wczhou@163.com

收稿日期: 2009-02-20

locations in Sichuan, Yunnan and Guizhou, Hunan, Jiangxi and Zhejiang and a few locations of rich rainfall in Guangdong, Hainan and Taiwan. The predictions also indicate that the spiralling whitefly would complete 4 – 12 generations annually in suitable survival regions though 6 – 9 generations annually are more likely.

Key words: *Aleurodicus disperses*; viability; risk subdivisions; predictive model; China

螺旋粉虱 *Aleurodicus dispersus* Russell 属同翅目 Homoptera 粉虱科 Aleyrodidae 复孔粉虱属 *Aleurodicus*, 英文通用名为 spiralling whitefly。该虫最早记述于西半球的新热带区^[1], 由于在原产地中美洲和加勒比海地区并非主要害虫, 而一直未受重视, 自 1957 年入侵美国、太平洋诸小岛、东南亚等地后, 造成严重的经济损失, 才被广泛关注。该虫 1988 年首次在台湾高雄大寮乡番石榴上发现, 至今已遍布整个台湾^[2], 海南也于 2006 年发现该虫^[3]。有关螺旋粉虱的分类鉴别特征^[1-2]、寄主种类调查^[4-6]、有效积温测定^[7-8]、形态发育^[7]和生物学特性^[8]以及发生危害的气候条件^[9-10]、天敌^[11]、防治等方面已有较多报道, 沈文君等^[12]利用 Climex 软件对该虫的适生区进行了初步的预测, 但在基于生态学原理创建数学模型系统研究该虫适生性方面则未见报道。

随着计算机技术的发展, 诸如 Climex、DIVA-GIS、GARP 和 MaxEnt 等生物地理信息系统软件已被广泛应用于有害生物的潜在分布预测^[13], 但这些通用软件在特定条件下也有其局限性。近年来在国际植物检疫谈判中, 对风险评估报告的要求越来越高, 因此有必要研究专门针对某种有害生物的评估模型。目前螺旋粉虱已蔓延到 40 多个国家和地区, 并正在进一步向各热带、亚热带地区扩散^[3]。由于该虫个体小、寄主多、隐蔽性强, 极易随贸易种苗、花卉和水果传播, 因此迫切需要准确地评估其入侵风险, 为制定检疫政策和防御措施提供科学依据。为此, 作者根据限制该虫分布的关键气候因子临界值, 应用有效积温法则和生物气候相似距方法, 以中国地面气候资料和地理信息数据库为基础, 选用 Map-Info MapX 地图控件和 Visual Basic 程序设计语言, 构建螺旋粉虱地理分布预测模型, 研究该虫在中国的适生性和定殖风险等级区划。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 气候资料和地理信息数据库的建立

气候资料主要来源于中央气象局资料室。用 Microsoft Access 设计数据库, 该库输入了国内 670

个、国外 402 个气象站 30 年的平均逐月气象资料。同时也录入了各站点的经度、纬度、海拔高度等地理信息。初选气候因子主要包括温度、降水、湿度、风速、日照等数据。

1.1.2 地图来源

矢量地图下载于国家基础地理信息系统网 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>), 本研究使用的是 1:400 万国界和省界地图, 以文件管理方式建立中国各行政省区矢量地图库。

1.2 方法

1.2.1 气候限制因子选择

制约螺旋粉虱种群的主要因素是极端低温、温度、降雨以及土壤水分蒸发蒸腾损失总量^[7, 11]。

温度是影响螺旋粉虱生存的最主要因素^[7, 9], 主要体现在该虫能否在被入侵地区越冬或越夏和定殖后的种群数量, 螺旋粉虱对极端高温有较强的忍耐性, 而低温则是螺旋粉虱能否成功入侵的关键因素。在螺旋粉虱越冬临界最低温度问题上, 不同研究结果有一定的差异^[7, 9], 作者认为温宏治等^[7]的试验更为精细, 故认同以月平均最低气温 5.2℃和月平均最高气温 40.2℃的等温线预测螺旋粉虱的潜在地理分布。

降水量也是影响螺旋粉虱生存的重要条件。韩冬银等^[8]在海南调查发现该虫在雨天不活动。Neuenschwander^[10]报道, 在尼日利亚, 螺旋粉虱的种群密度在 3、4 月份的旱季比 7、8 月的雨季高很多, 可见干旱温暖有利于其发生, 而低温或过量降雨均对其生存不利。在台湾南部, 该虫田间种群由 10 月开始增加, 11 月达到高峰, 12 月下旬逐渐下降, 也同样说明这一点^[2, 11]。作者在海南省琼海、屯昌和儋州三地的监测也表明, 该虫在 10~11 月田间种群数量较大, 一般在 11 月达到最高峰, 与这些地区的少雨季节相一致。

湿度是影响螺旋粉虱生长发育的另一个重要因素。干燥的环境条件有利于螺旋粉虱觅食、发育及其它活动^[8]。

1.2.2 适生区预测

综合上述分析, 建立适生区预测模型。

适生区: $T_{\min}(i) > T_{\min}$ 且 $T_{\max}(i) < T_{\max}$; 非适生区: $T_{\min}(i) < T_{\min}$ 或 $T_{\max}(i) > T_{\max}$ 。其中 T_{\max} 和 T_{\min} 分别表示越夏和越冬临界温度, $T_{\max}(i)$ 和 $T_{\min}(i)$ 分别表示第 i 观测点(气象站)30年平均气候资料中7月的平均最高温度和1月的平均最低温度。

1.2.3 有效积温预测

有效积温也在一定程度上反映了适生区的温度对螺旋粉虱生长发育和种群繁殖的贡献。温宏治等^[7]通过在不同温度下的饲养试验,推算该虫卵至蛹的发育起点温度和有效积温分别为 9.8°C 和 433 日度(degree-day),但没有卵至成虫产卵前期的数据。本研究根据韩冬银等^[8]的研究结果,以螺旋粉虱世代的发育起点温度 8.88°C 和有效积温 511.86 日度为依据预测其在各地的年发生代数。用30年间的逐月平均气温 T_i 计算各地年有效积温 T_y 。

$$T_y = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^n (T_{ij} - C) T_{ij} \geq C$$

其中第 i 月 j 天的平均气温 T_{ij} 是用相邻两月的月平均气温通过线性插值法求得。式中 C 为螺旋粉虱的发育起点温度($^{\circ}\text{C}$), n 为各月的天数($n = 28, 30, 31$)。

在达不到1个世代所需有效积温的地区,螺旋粉虱就不能完成世代交替。年有效积温越高,该虫年发生代数越多,田间种群密度也就越高。该虫主要在叶部取食,需要通过连续几代的繁殖才能造成严重危害。对该虫适生区预测以 8.88°C 为发育起点温度(C)、511.96 日度为生存所需的最低有效积温(T_g),并在此基础上划分螺旋粉虱入侵风险的等级指标: $T_y < 1.0 T_g$ 为安全区; $1.0 T_g \leq T_y < 4.0 T_g$ 为轻度危险区; $4.0 T_g \leq T_y < 7.0 T_g$ 为危险区; $T_y \geq 7.0 T_g$ 为高度危险区。

1.2.4 生物气候相似距预测

生物气候相似距是研究生物地理分布的一个重要工具^[14]。利用该方法预测有害生物的潜在地理分布,气候因子、标准点和有害生物发生时段的选择都至关重要。本研究选择多米尼加共和国的圣多明各、美国的迈阿密、尼日利亚的伊洛林和我国台湾的台南市为标准点。其中圣多明各、迈阿密属于螺旋粉虱的原产地,迈阿密还是该虫的首次记述地^[11],伊洛林是螺旋粉虱最早入侵非洲的地区,台南市是该虫入侵台湾后危害最严重的地区。我国1~3月虽然也是降水较少的时段,但气温不适于螺旋粉虱生长繁殖,根据温宏治等^[2, 11]的报道和作者在海南

的监测结果,选择该虫主要发生期9~12月(标准点之一的伊洛林则选择发生盛期2~5月)的气候数据,选用平均气温、平均降水量和平均相对湿度3个影响螺旋粉虱的关键气候因子,用改进后的欧氏距离法计算生物气候相似距 d_{ij} ,选择 m 个气候因子计算相似距,则

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (X'_{ik} - X'_{jk})^2}$$

其中 X'_{ik} 、 X'_{jk} 为 i 、 j 两站点第 k 种气候因子的标准化值:

$$X'_{ik} = \frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{\sigma_k}$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ik} \text{ 为第 } k \text{ 种气候因子的均值, } X_{ik} \text{ 为}$$

第 i 站点第 k 种气候因子的观察值;

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_k)^2}{n-1}} \text{ 为第 } k \text{ 种气候因子均}$$

方差。

1.2.5 地理信息模块

地理信息模块是在 Visual Basic 集成开发环境中,应用地图控件 MapInfo MapX 完成模块的研制。其主要功能是根据气象站的地理纬度和经度资料,对研究结果进行空间作图分析和各风险等级发生区面积的空间统计。

1.2.6 地理分布模型的组装

根据上述数学模型和螺旋粉虱的发生规律,在 Windows 操作系统上,采用面向对象的程序设计技术,选用 MapInfo MapX 地图控件和 Visual Basic 程序设计语言,构建螺旋粉虱地理分布模型(geographical distribution model of *Aleurodicus dispersus*, GDMAD)。用该模型预测螺旋粉虱在中国的潜在适生区,并进行定殖风险等级区划等。

2 结果与分析

2.1 螺旋粉虱在中国的适生区预测

限制螺旋粉虱地理分布的关键气候因素是冬季低温。由于螺旋粉虱有较强的高温忍耐性,所以在我国各地都可安全越夏,夏季高温不构成限制其在我国的地理分布。经模型分析得出:在全国670个基准气象站点所代表的地区中,螺旋粉虱可以生存的地区有170个,占25.37%;不能生存的地区有

500个,占74.63%(图1)。

2.2 螺旋粉虱在中国的年发生代数预测

模型分析表明:在中国可以越冬的地区中,螺旋

粉虱1年发生4~12代,其中以6~9代为主。在不考虑越冬的情况下,该虫在中国各地的年发生代数如图2所示。

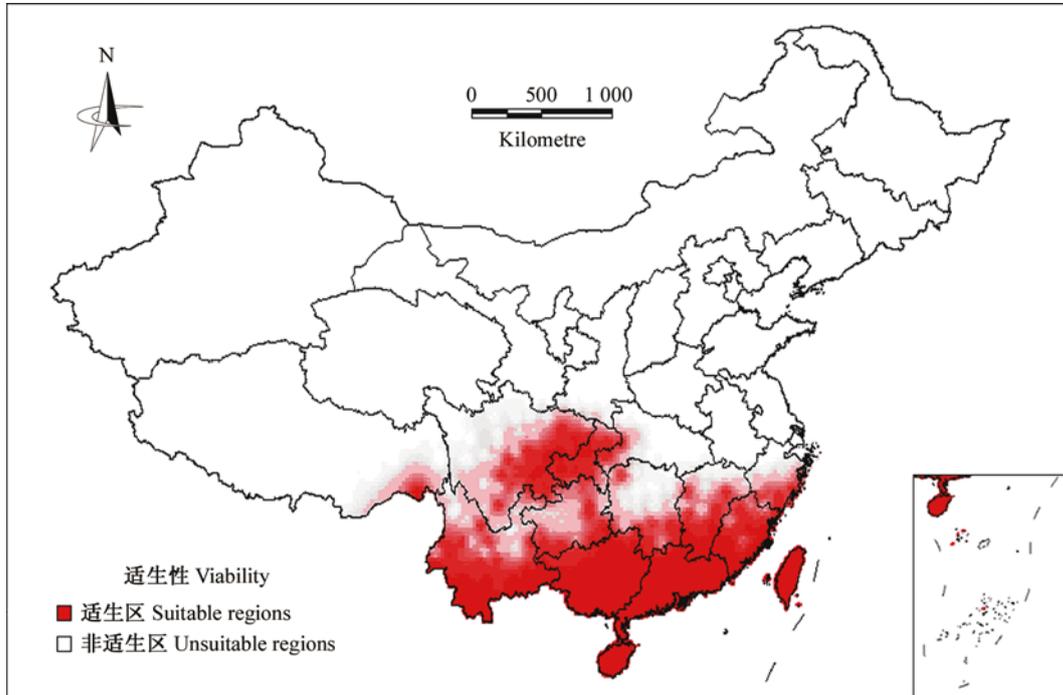


图1 螺旋粉虱在中国的适生区预测结果

Fig. 1 Predicted suitable regions of the spiralling whitefly in China

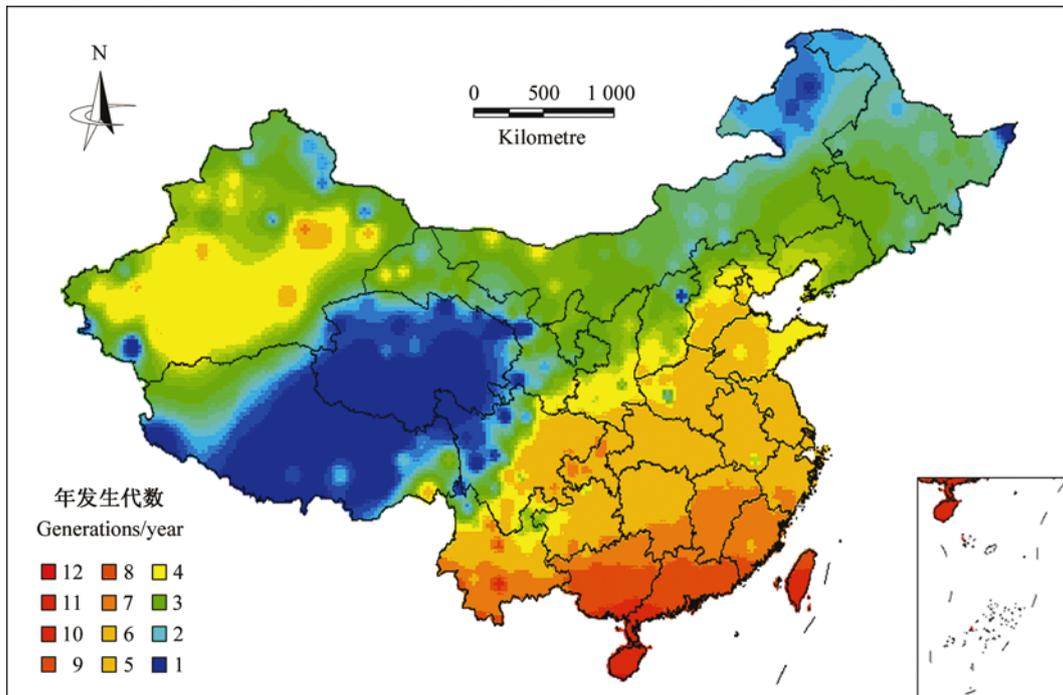


图2 螺旋粉虱在中国的年发生代数预测结果

Fig. 2 Predicted annual number of generation of the spiralling whitefly in China

2.3 螺旋粉虱的生物气候相似距预测和分析

模型分析显示,我国广东、广西及台湾等地与该虫标准点之间生物气候相似距较小(d_{ij} 为0.5左右),长江中下游流域地区与标准点的生物气候条

件也较为接近(d_{ij} 为1.0左右),这些地区有螺旋粉虱入侵的可能性。华北、西北及东北等广大北方地区与标准点之间的相似距较大(图中红黄色部分),螺旋粉虱一般难以成功入侵(图3)。

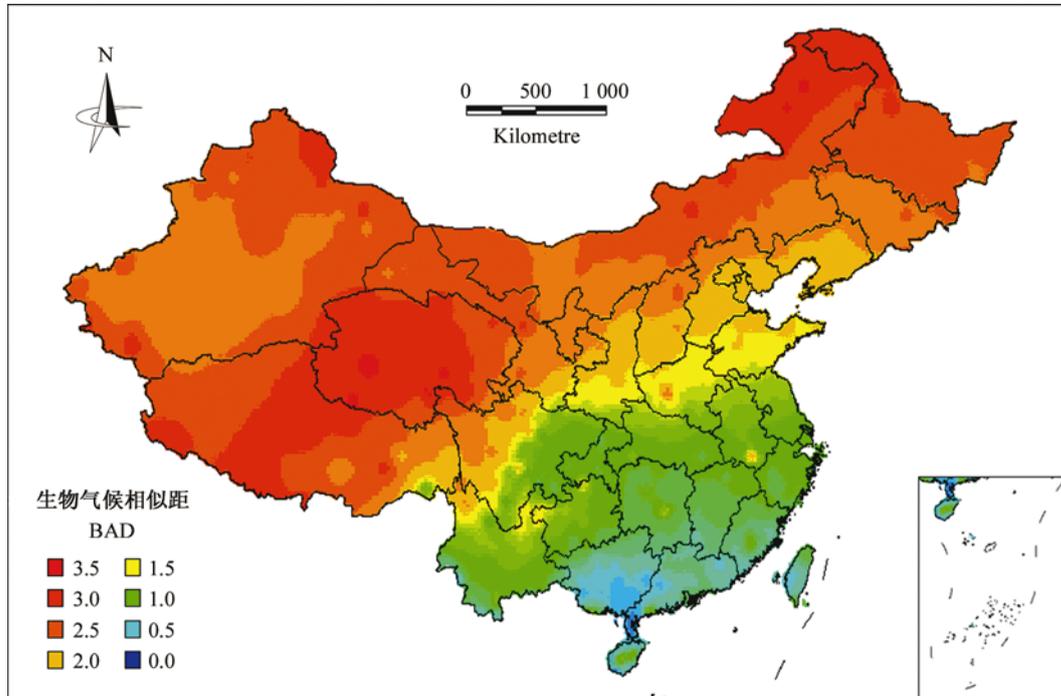


图3 螺旋粉虱在中国的生物气候相似距预测结果

Fig.3 Predicted bioclimate analogical distance for the spiralling whitefly in China

2.4 螺旋粉虱在中国的潜在风险等级区划

综合分析螺旋粉虱的气候限制因素、有效积温(T_g 为世代有效积温, T_y 为观察点的年有效积温)和生物气候相似距(d_{ij}),将螺旋粉虱在中国的潜在风险等级区划如下(图4)。

安全区:74.63%,螺旋粉虱不能越冬或不能越夏或一年中不能完成世代交替的地区,包括我国东北、西北、华北、青藏高原和长江流域的大部分地区以及西南的部分地区等500个气象观察站点所代表的地区(下同);轻度危险区:5.07%,螺旋粉虱在这类地区可以越冬和越夏,但有效积温过低或相似距过大,致使该虫种群数量增长缓慢,不能在作物生长季节迅速扩展造成严重危害,区划指标为 $d_{ij} > 1.4$ 或 $T_y < 4.0 T_g$,主要包括四川、云南、贵州、湖南、江西、浙江等气温较低的部分地区和广东、海南、台湾等降水量过大的个别地区,共涉及34个地区,面积约35.12万 km^2 ;危险区:13.13%,在这些地区中,多数生物气候因子和标准点比较相似,入侵这些地区的螺旋粉虱可以顺利定殖和扩散,并造成严重危

害,区划指标为 $0.6 < d_{ij} \leq 1.0$ 且 $T_y > 4.0 T_g$,或 $4.0 T_g \leq T_y < 7.0 T_g$ 且 $d_{ij} < 1.4$,主要包括浙江南部、江西中南部、湖南南部、福建大部、广西北部、云南中南部、四川东南大部、贵州南部以及广东、湖北和台湾的个别地区,共涉及88个地区,面积约85.70万 km^2 ;高度危险区:7.16%,这类地区气候为热带或亚热带温湿型,生物气候条件与标准点非常相似,年降水量适中,但秋季和初冬时段降水相对较少,温暖且相对干燥的气候条件十分有利于螺旋粉虱的繁殖和扩散,并迅速造成巨大经济损失,区划指标为 $d_{ij} \leq 0.6$ 且 $T_y > 7 T_g$,或 $T_y \geq 10 T_g$ 且 $d_{ij} < 1.0$,主要包括福建东南部、台湾、海南、广东、广西的大部以及江西、云南的个别地区,共涉及48个地区,面积约38.84万 km^2 。

2.5 模型的验证

根据数据库^[14]可利用的气候资料,随机选用14个有螺旋粉虱分布地区的气候资料测试验证该系统模型。结果显示:安全区:0.00%;轻度危险区:7.14%,为美国的希洛;危险区:21.43%,包括菲律

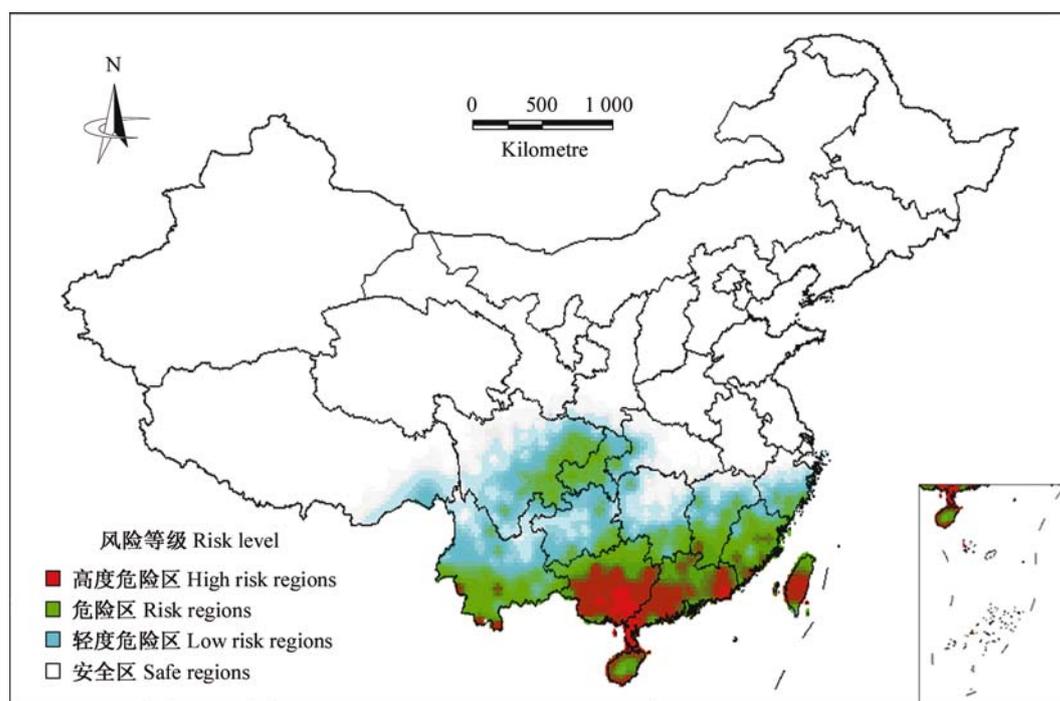


图 4 螺旋粉虱在中国的潜在风险等级区划

Fig. 4 Predicted potential risk of spiralling whitefly in China

宾的塔克洛班、斯里兰卡的科伦坡和马达加斯加的图利亚拉;高度危险区:71.43%,包括新加坡、委内瑞拉的玻利瓦尔城、多哥的洛美、巴西的巴西利亚、泰国的清迈、马来西亚的马六甲、老挝的万象、越南的河内、印度的新德里和缅甸的曼德勒。

上述测试结果表明,模型预测适生区的正确率为100%(有螺旋粉虱分布的地区都被预测为适生区),由于无法获得测试地区螺旋粉虱的实际风险等级记录,故无法对模型预测的风险等级区划结果进行统计学测试,但这些地区大都有螺旋粉虱严重危害的报道,且它们都处于热带或亚热带地区。

3 讨论

目前,国内有关外来有害生物适生区的定量预测研究主要是应用国外相关的通用软件如 CLIMEX、BIOCLIM、GARP、FLORAMAP、DOMAIN 和 HABITAT 等,这些软件方便实用,如研究者不需要掌握数据库、分析数学、概率统计等技术建立数学模型,更不需要掌握复杂的程度设计语言实现模型的计算机分析,有些甚至不需要了解研究物种的基本生物学数据,只需要根据物种的现有分布,通过位置比较方法,就能粗略地预测该物种的分布。但生物是极其复杂的,一个通用软件不可能涵盖所有物种的情况,

同时,在国际贸易争端谈判中,对有害生物风险评估报告的要求也越来越高。所以,根据害虫的灾变规律,基于 GIS 技术,建立针对某种害虫特定的数学模型,科学地预测其潜在分布区的研究应引起重视,本研究在这方面进行了初步探索,还有待进一步完善。

沈文君等^[12]利用澳大利亚研制的 CLIMEX 软件,对螺旋粉虱在中国的地理分布区进行了初步预测,其结果与本研究在趋势上基本一致,但在具体的适生区范围、分布北界和适生区的连续性等方面存在较大差异。众所周知,CLIMEX 有其优点,即可以在没有实验数据或数据不全的情况下,利用 CLIMEX 的位置比较功能,通过数据训练确定生物学参数,用于预测潜在的物种分布区。但这种方法也有其局限性,如为用于训练数据而收集的实际分布区资料如果没有达到该物种地理上的分布极限,则预测的结果可能不准确。例如某物种当前分布的北界最低温度为 5℃,则 CLIMEX 数据训练的基准点是 5℃,而实际上该物种的冷致死温度是 0℃,在这样情况下,CLIMEX 的预测显然会有一定的误差。就螺旋粉虱而论,其盛发期为 10~11 月,CLIMEX 基于全年的气候数据,预测显然是有误差。本研究以实验数据为依据,直接选用制约螺旋粉虱种群地理分布的关键气候因子的临界值结合有效积温法则和生

物气候相似距方法建立数学模型进行预测,结果表明,该虫的适生区北界并不是连续的,主要包括南方以广东、广西为中心的一个大区 and 以四川盆地为中心的一个小区(图 1、图 4)。初步分析,本研究与沈文君等^[12]在预测结果上存在上述差异的原因可能是:①选择的时段不同,沈文君等^[12]依据全年气候数据,而本研究选择主要危害期 9~12 月的气候数据。②选用的某些生物学参数不同,沈文君等^[12]在研究中采用的发育起点温度和有效积温分别为 15℃与 433 日·度(数据训练的模拟值),与本研究所采用的实验数据有较大差别。

综上所述,对今后相关防治提出几点建议:(1)加强螺旋粉虱的检疫。迄今为止,该虫在我国的分布仅局限于海南和台湾地区,疫区面积约 6.93 万 km²,具有向外扩展的巨大潜能,对我国 159.66 万 km² 的适生区构成潜在威胁,同时北方蔬菜和花卉生产保护地同样存在潜在的入侵风险。(2)加强螺旋粉虱的监测。在螺旋粉虱入侵风险较高的地区,做好花圃、果园、菜地、温室等重点部位的监测工作,及时掌握该虫的入侵动态,一旦发现疫情,立即启动应急预案予以扑灭。地球变暖已成为一个基本趋势,尤其是近几年出现的连续暖冬现象,这可能会影响螺旋粉虱的分布。因此,在适生区与非适生区的过渡地带加强该虫的监测也是不可忽略的防御措施。

参 考 文 献(References)

- [1] Russell L M. A new species of *Aleurodicus* Douglas and two close relatives (Homoptera: Aleyrodidae). *Florida Entomologist*, 1965, 48: 47 - 55
- [2] 温宏治,许洞庆,陈秋男. 螺旋粉虱 (*Aleurodicus dispersus* Russell) 之形态补述及寄主植物. *中华昆虫*, 1994, 14(1): 147 - 161
- [3] 虞国跃,张国良,彭正强,等. 螺旋粉虱入侵我国海南. *昆虫知识*, 2007, 44(3): 428 - 431
- [4] Aiswariya K K, Manjunatha M, Naik M I. Biology and host range of spiralling whitefly. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 20(1): 149 - 152
- [5] 韩冬银,刘奎,陈伟,等. 螺旋粉虱在海南的分布与寄主植物种类调查. *昆虫知识*, 2008, 45(5): 765 - 770
- [6] Dubey A K, Sundararaj R. Host range of the spiralling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell (Aleyrodidae: Homoptera) in western Ghats of south India. *Indian Journal of Forestry*, 2004, 27(1): 63 - 65
- [7] 温宏治,许洞庆,陈秋男. 温度对螺旋粉虱 (*Aleurodicus dispersus* Russell) 发育、成虫寿命、活动及产卵之影响. *中华昆虫*, 1994, 14(1): 163 - 172
- [8] 韩冬银,刘奎,张方平,等. 螺旋粉虱的生物学特性. *昆虫学报*, 2009, 52(3): 281 - 289
- [9] Cherry R H. Temperature tolerance of three whitefly species found in Florida. *Environmental Entomology*, 1979, 8(6): 1150 - 1152
- [10] Neuenschwander P. Spiralling whitefly *Aleurodicus dispersus*, a recent invader and new cassava pest in Africa. *African Crop Science Journal*, 1994, 2: 419 - 421
- [11] 温宏治,许洞庆,陈秋男. 螺旋粉虱之综述. *植物保护学会会刊*, 1997, 39(2): 139 - 149
- [12] 沈文君,万方浩. 入侵害虫螺旋粉虱及其在我国的适生区预测. *昆虫知识*, 2007, 44(3): 367 - 371
- [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] 周卫川,蔡金发,陈德牛,等. 褐云玛瑙螺在我国的适生性研究. *动物学报*, 1998, 44(2): 138 - 143