

气候变暖情境下松材线虫在我国的适生区范围^{*}

何善勇¹ 温俊宝¹ 骆有庆¹ 宗世祥^{1**} 赵宇翔² 韩 婧¹

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083;

2. 国家林业局森林病虫害防治总站 沈阳 110034)

摘 要 基于历史气象数据(1971—2000),利用 CLIMEX 软件对松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 在我国的潜在适生区进行了预测,结果显示:松材线虫在我国的适生范围广、适生程度高,全国除黑龙江、吉林省无适生区外,其余各省市均有适生区域,其中约 2/3 的适生区为高度适生区,覆盖整个南方地区,分布北界达内蒙古通辽地区,西至西藏的日喀则地区;进一步结合英国气候变化研究中心提供的气候变暖情境下未来气候模拟数据 TYN SC2.0,利用 CLIMEX 软件预测出未来 30 年内(2010—2039)松材线虫在我国的潜在适生区,结果发现同历史气候条件下相比,未来 30 年内松材线虫在我国的适生分布区将呈现范围增加、适生程度增加、向北扩散的趋势,其中分布北界将到达吉林省西部,分布西界则与历史气候条件下预测结果相差无几。

关键词 松材线虫, 潜在适生区, CLIMEX, 气候变暖

The predicted geographical distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* in China under climate warming

HE Shan-Yong¹ WEN Jun-Bao¹ LUO You-Qing¹ ZONG Shi-Xiang^{1**} ZHAO Yu-Xiang² HAN Jing¹

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 2. General Station of Forest Pest Management, State Forestry Administration, Shenyang 110034, China)

Abstract The potential geographical distribution of the pest nematode *Bursaphelenchus xylophilus* in China was predicted by CLIMEX using a historical climate dataset (1971—2000). The results suggest that *B. xylophilus* has a wide range of suitable habitat in China. All provinces except Heilongjiang and Jilin have suitable habitat for this pest and about 2/3 of this is highly suitable. The nematode's northern limit of distribution is predicted to reach the Tongliao region of Inner Mongolia and its western boundary is predicted to be the Rikaze region of Tibet. The potential geographical distribution of *B. xylophilus* during the next 30 years (2010—2039) under a global warming scenario was also predicted by CLIMEX based on the simulated climate dataset TYN SC 2.0 provided by the Tyndall Centre for Climate Change. The predicted future geographical range of *B. xylophilus* under this scenario is larger than that estimated from the historical climate data, with the predicted northern limit of distribution reaching the western parts of Jilin. The western limit of distribution may, however, remain unchanged.

Key words *Bursaphelenchus xylophilus*, potential geographical suitable distribution, CLIMEX, climate warming

全球变暖现象已为国际社会所公认,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第四次评估报告中(AR4)明确指出从1906—2005年的100年里全球地表平均温度上升的线性趋势已达0.74℃(IPCC, 2007)。而造成气候变暖的主要原因则是自工业化时代以来人类活动排放出的大量温室气

体。由于气候变暖将对自然环境与人类社会产生诸多不利影响,如冰川消失、物种灭绝、耕地面积减少等,各国均大力加强对未来气候变化的预测研究,其中一个显著的特点体现在对气候预测模型的开发以及多种排放场景的设计(赵宗慈, 2006)。从20世纪90年代以来,气候系统模拟技

^{*} 资助项目:国家林业局林业公益性科研专项“气候变化对林业生物灾害影响及适应对策研究(200804023)”。

^{**} 通讯作者, E-mail: zongsx@126.com

收稿日期:2010-07-13, 接受日期:2011-09-20

术开始迅速发展,2007 年 IPCC 的 AR4 中就收录了全球 24 个气候耦合模型(IPCC 数据共享网 <http://www.ipcc-data.org/index.html>)。

随着气候模拟技术的不断发展和完善,结合气候模型模拟出的未来气候条件下有害生物特别是外来入侵生物的扩散趋势在近几年已逐渐成为一个新的研究方向,国内外已分别预测了橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、甘蓝蚜 *Contarinia nasturtii*、大豆潜叶蝇 *Liriomyza huidobrensis*、橘实锤腹实蝇 *Monacrostichus citricola* 等有害生物在气候变暖情景下未来的适生分布区(Stephens *et al.*, 2007; Mika *et al.*, 2008; Mika and Newman, 2010; 倪文龙等, 2010), 预测的结果对于控制有害生物的扩散具有重要参考价值。

松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 是我国十分重要的林业检疫性有害生物,具有扩散速度快、致死率高、造成损失大的特点。它主要寄生松属(*Pinus*)植物,从而引起松材线虫病,感病松树最快 40 d 左右就能整株死亡(王玉嫵等, 1991)。据报道,2004—2006 年松材线虫从 53 个县市增加至 95 个县市(张建军等, 2007), 2011 年全国松材线虫疫区已涉及 15 个省区 175 个县市(国家林业局公告, 2011), 扩散形势十分严峻。因此,开展松材线虫在我国的适生区预测特别是在气候变暖情景下未来松材线虫在我国的适生区预测具有重要的现实意义。虽然从上世纪 80 年代开始也有松材线虫适生区相关研究(宋玉双和臧秀强, 1989; 吕全等, 2005; 冯益明等, 2009), 但研究的方向都集中在利用历史气象数据预测松材线虫适生区。本文利用英国气候研究中心提供的未来年气象预测数据和中国历史气象数据,使用 CLIMEX 软件预测、分析和比较了未来气候变暖条件下和历史气候条件下松材线虫在我国的适生分布范围,以期从发展的角度为松材线虫的防控和检疫工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 适生性分析软件—CLIMEX 采用澳大利亚 1999 年发布的 CLIMEX for Windows 1.1 软件,使用的功能为单物种地区比较(compare locations(1 species))。CLIMEX 假设气候是决定物种地理分布和相对丰盛度的最重要因素,且物

种在 1 年内经历适合种群增长时期和不适合乃至危及生存的 2 个时期,最后综合生长指数 GI、逆境指数 SI 和限制条件求出生态气候 EI 值,以 EI 值大小描述物种对某一地区的综合适合度(宋红敏等, 2004)。

1.1.2 中国历史气象数据 CLIMEX 自带 85 个中国气象站点的月均值数据(1961—1990), 根据国家气象信息中心提供的中国地面气候标准值月值数据集(1971—2000), 整理得到全国 740 个气象站点气候数据。

1.1.3 气候变暖情景下未来 30 年内(2010—2039)中国气象数据

数据获得:未来中国气象数据从 TYN SC2.0 数据集中提取获得。TYN SC2.0 数据集由英国气候变化研究中心(Tyndall Centre for Climate Change)的 Tim Mitchell 教授整理制成,用户可从英国东英吉利大学气候研究中心(CRU)网址下载获取(<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>)。该数据集为时间序列模拟数据集,分辨率很高($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$), 涵盖全球 67 420 个重要的陆地栅格点,能够模拟 2001—2100 年未来 100 年的月均温度(TMP)、温度日较差(DTR)、降雨量(PRE)、水蒸汽压力(VAP)和云量(CLD)5 种气象数据。该数据集包括 5 种气候耦合模型和 4 种排放场景,气候模型分别为英国 HadCM3 模型、美国 PCM 模型、加拿大 CGCM2 模型、澳大利亚 CSIRO2 模型和德国 ECHam4 模型,排放场景为 IPCC 第 3 次评估报告中(TAR)提出的 A1FI、A2、B1 和 B2 场景(IPCC, 2000), 因此总计可提供 20 种模拟气象数据集。

时间段、气候模型和排放场景的选择:参考王淑瑜和熊喆(2004)的研究结果,本文选取德国 ECHAM4 作为未来气候的预测模型。因为进行气象分析时通常以 30 年平均数据作为基础以防止背景干扰,所以选择输出的时间段为 2010—2039 年(Stephens *et al.*, 2007)。结合我国的国情,认为在未来的 30 年里我国发展趋势为人口将缓慢增长,经济快速发展,注重全球化合作,能源系统仍以高强度矿物燃料使用为主导,因此本文选择最为极端的排放场景 A1FI。有关各排放场景的具体描述见 IPCC 第 3 次评估报告(IPCC, 2000)。

数据格式转化:CLIMEX 要求的气象数据为月均最高温度(Tmax)、月均最低温度(Tmin)、月降

雨量(Prec)、上午 9:00 相对湿度(Hum9)和下午 15:00 相对湿度(Hum15),因此在使用 TYN SC 2.0 的数据之前需进行数据格式转化。其中,Tmax 和 Tmin 数据由 TYN SC 2.0 的 TMP 数据和 DTR 数据求得(Stephens *et al.*, 2007);相对湿度数据由等式 $RH(\%) = 100 \times (e_a \div e^0(T))$ 求得,其中 e_a 是实测得到的该温度下水蒸汽压力数据,即 TYN SC 2.0 中的 VAP 数据, $e^0(T)$ 是需要通过运算求解出的该温度下饱和水蒸汽压力,公式为: $e^0(T) = 0.6108 \exp[17.27T/(T + 237.3)]$ (Allen *et al.*, 1998),由相对湿度等式求得的数据作为 CLIMEX 下午 15:00 的相对湿度数据(Hum15),而早上 9:00 的相对湿度则使用下午 15:00 的相对湿度(Hum15)除以 85% 获得(Mika *et al.*, 2008)。数据转化完成后,从中挑选出中国范围内的气象分布点数据用于分析。

1.1.4 松材线虫相关生物学资料 松材线虫在低于 10 °C 时不能发育,高于 28 °C 增殖受到抑制,33 °C 以上不能繁殖,生长繁殖最适温度为 25 °C。在日本,年均气温高于 14 °C 的地区松材线虫普遍发生,年均气温 10 ~ 12 °C 的地区有入侵但不造成危害(宋玉双和臧秀强,1989)。在 15 °C 温度下 12 d、20 °C 时 6 d、30 °C 时 3 d 即可繁殖一代,在孵化后第 4 天开始产卵,卵在 25 °C 下 26 ~ 32 h 即孵化出幼虫(江浩,1996)。张建平等(2007)研究发现,松材线虫在 -20 °C 条件下可以存活 8 d,40 °C 条件下可存活 7 d;松材线虫在湿度大于 80% 的切枝上迁移运动活跃(杨振德等,2003)。郑光华等(2004)通过对进境木材的抽样发现,木材的含水率与松材线虫携带可能性成正比,含水率为 13% 以上的木样携带线虫比例普遍较高,均在 30% 以上,而在含水率为 10% 的 4 个样品中却未发现其携带有线虫。

1.1.5 松褐天牛相关生物学资料 宋红敏和徐汝梅(2006)利用 CLIMEX 预测了松墨天牛在全球的适生分布区,因此本文预测松墨天牛适生区时主要参考该文献中的相关资料。

1.1.6 地理分析软件 对 CLIMEX 结果进行图层分析时采用的是美国环境系统研究所公司(Environmental Systems Research Institute, Inc. 简称 ESRI)开发的 ArcMap9.2 软件。

1.2 研究方法

将收集的松材线虫和松褐天牛生物生态学资料按 CLIMEX 要求进行参数设置,分别导入历史和未来气象数据后运行 CLIMEX 软件得到历史和未来气候条件下松材线虫 EI_1 值和松褐天牛 EI_2 值,综合二者结果得到最终松材线虫在我国各气象站点的适生值 EI 。利用 ArcMap 软件中的反距离加权插值功能处理得到松材线虫在我国当前和未来气候条件下的适生图。研究方法流程见图 1。

1.2.1 松墨天牛参数设置 同 1.1.5。

1.2.2 松材线虫参数设置 松材线虫分布于北美洲的美加地区,欧洲和地中海部分地区,亚洲的中国、日本、朝鲜(宁眺等,2004),在我国主要分布于南方的亚热带地区,因此选择 CLIMEX 中的地中海生物模板数据作为松材线虫的原始参数设置。由于环境因子交互作用影响松材线虫发生的资料较少,因此分析时未设置环境交互作用参数项,而选择了主要的 17 个参数项。根据收集整理得到的松材线虫基础生物学数据对模板原始数据进行调整,得到初步确定的参数值,再运行软件进行模拟,并反复调试各参数值,直到模拟结果与松材线虫实际情况达到最大程度的拟合,则此时确定的参数值作为最终所用的预测参数值。根据秦复牛和潘沧桑(2003)的介绍,松材线虫可以划分为美国亚型、加拿大亚型和日本亚型 3 个亚型,其中中国、日本和美国的致病型松材线虫具有高度的同源性,因此在参数设置调试过程中,主要以松材线虫在美国、日本和中国的分布情况作为参考。

1.2.3 EI 值的划分 生态气候指数 EI 的取值范围为 0 ~ 100,其大小代表物种在目标区域内的潜在适生程度。

本文依照 Chejara 等(2010)的界定,以 $0 \leq EI < 0.49$ 的地区为非适生区, $0.5 \leq EI < 9.99$ 为低度适生区, $10 \leq EI < 19.99$ 为中度适生区, $EI \geq 20$ 则为高度适生区。

1.2.4 综合 EI_1 和 EI_2 得到松材线虫在我国各气象站点 EI 值 松材线虫在某地的适生程度取决于寄主、气候和传播媒介 3 个主要因素:首先由于它的寄主为松属(*Pinus*)植物(宁眺等,2004),广泛分布于我国全境(中国植物物种信息库. <http://db.kib.ac.cn/>),因此未对寄主分布做详细分析;其次松材线虫的传播有自身传播、媒介传播和土壤传播 3 种(宁眺等,2004),其中媒介传播是关键。因此松材线虫在各气象站点的最终 EI 值应

综合考虑松材线虫在该气象站点的 EI_1 值和松褐天牛在该点的 EI_2 值,结合冯益明等(2009)的研究,本文规定: $EI_1 < 0.5$,则 $EI = EI_1$,表示某地即使存在松墨天牛,但如气候不适合则松材线虫无法

在该地生存; $EI_1 \geq 0.5$,则 $EI = 0.75 \times EI_1 + 0.25 \times EI_2$,表示某地如气候适合松材线虫生存,则还应考虑松墨天牛的影响。

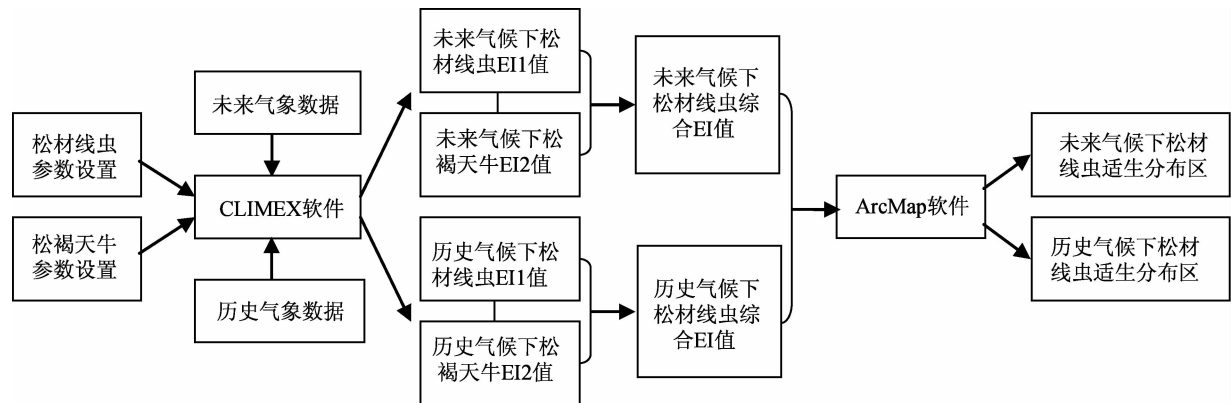


图1 研究方法流程图

Fig. 1 Flow diagram of research methods

2 结果与分析

2.1 松材线虫 CLIMEX 最终参数值

根据松材线虫在全球分布的模拟结果与实际分布达到最大吻合后,确定出的松材线虫最佳参数,如表1所示。

表1 松材线虫 CLIMEX 参数值

Table 1 CLIMEX parameter value of *Bursaphelenchus xylophilus*

CLIMEX 参数 CLIMEX parameters	参数值 Value	CLIMEX 参数 CLIMEX parameters	参数值 Value
发育起点温度(DV0)	10	冷胁迫开始积累的温度阈值(TTCS)	-15
The lower temperature threshold(DV0)		冷胁迫积累速率(THCS)	
适宜温度下限(DV1)	15	The cold stress temperature rate(THCS)	0.05
The lower optimum temperature(DV1)		热胁迫开始积累的阈值(TTHS)	
适宜温度上限(DV2)	28	The heat stress temperature threshold(TTHS)	35
The upper optimum temperature(DV2)		热胁迫积累速率(THHS)	
发育最高温度(DV3)	33	The heat stress temperature rate(THHS)	0.002
The upper temperature threshold(DV3)		干胁迫开始积累的阈值(SMDS)	
有效积温(PDD)	150	The dry stress threshold(SMDS)	0.02
Effective degree days(PDD)		干胁迫积累速率(HDS)	
发育需要的最低土壤湿度(SM0)	0.2	The dry stress rate(HDS)	0.05
Lower soil moisture threshold(SM0)		湿胁迫开始积累的阈值(SMWS)	
适宜发育需要的土壤湿度下限(SM1)	1	The wet stress threshold(SMWS)	5
Lower optimal soil moisture(SM1)		湿胁迫积累速率(HWS)	
适宜发育需要的土壤湿度上限(SM2)	2	The wet stress rate(HWS)	0.0015
Upper optimal soil moisture(SM2)			
发育需要的土壤最高湿度(SM3)	3		
Upper soil moisture threshold(SM3)			

利用该最佳参数值预测松材线虫在全世界的分布,结果与松材线虫当前在美国、日本和中国的实际分布情况相似。其中 CLIMEX 自带的日本 9 个气象站点均为松材线虫高度适生区, EI 平均值达 50.25; 国际农业和生物科学中心 (CABI) 的作物保护大全 (CPC) 上记录松材线虫在美国分布于 34 个州 (<http://www.cabi.org/cpc/>), CLIMEX 自带有其中 30 个州共 101 个气象站点, 预测结果显示该 30 个州均为松材线虫高度适生区, EI 平均值达 26, 仅有 6 个站点 EI 值为 0; 中国历史气象数据中包含 58 个国家林业局 2011 年公布的最新松材线虫疫区, 预测结果显示均为高度适生区, EI 平均值达 46。

2.2 历史气候条件下松材线虫在我国的潜在气候适生区

松材线虫在我国的适生区预测结果如图 2 所

示。图中显示当前气候条件下松材线虫在我国的气候适生区域广泛, 除黑龙江、吉林省无适生区外, 其余各省市均有适生区域, 且松材线虫在我国的气候适生程度很高, 约 2/3 的适生区为高度适生区。

高度适生区主要位于我国南方地区, 包括海南、广西、广东、福建、台湾、云南、贵州、湖南、江西、浙江、四川除西北少数地区外的所有地区、重庆、湖北、安徽除东北极少数地区外的所有地区、江苏, 另外山东东南部地区、河南东南部地区、陕西南部局部地区、辽宁环渤海湾的部分地区、河北东南与渤海相接的部分地区和西藏的林芝地区也是松材线虫的高度适生区。

中度适生区主要位于我国中北部的部分地区, 包括甘肃与四川和陕西分别交界的局部地区、陕西中部地区、河南中北部地区、山东西北部地

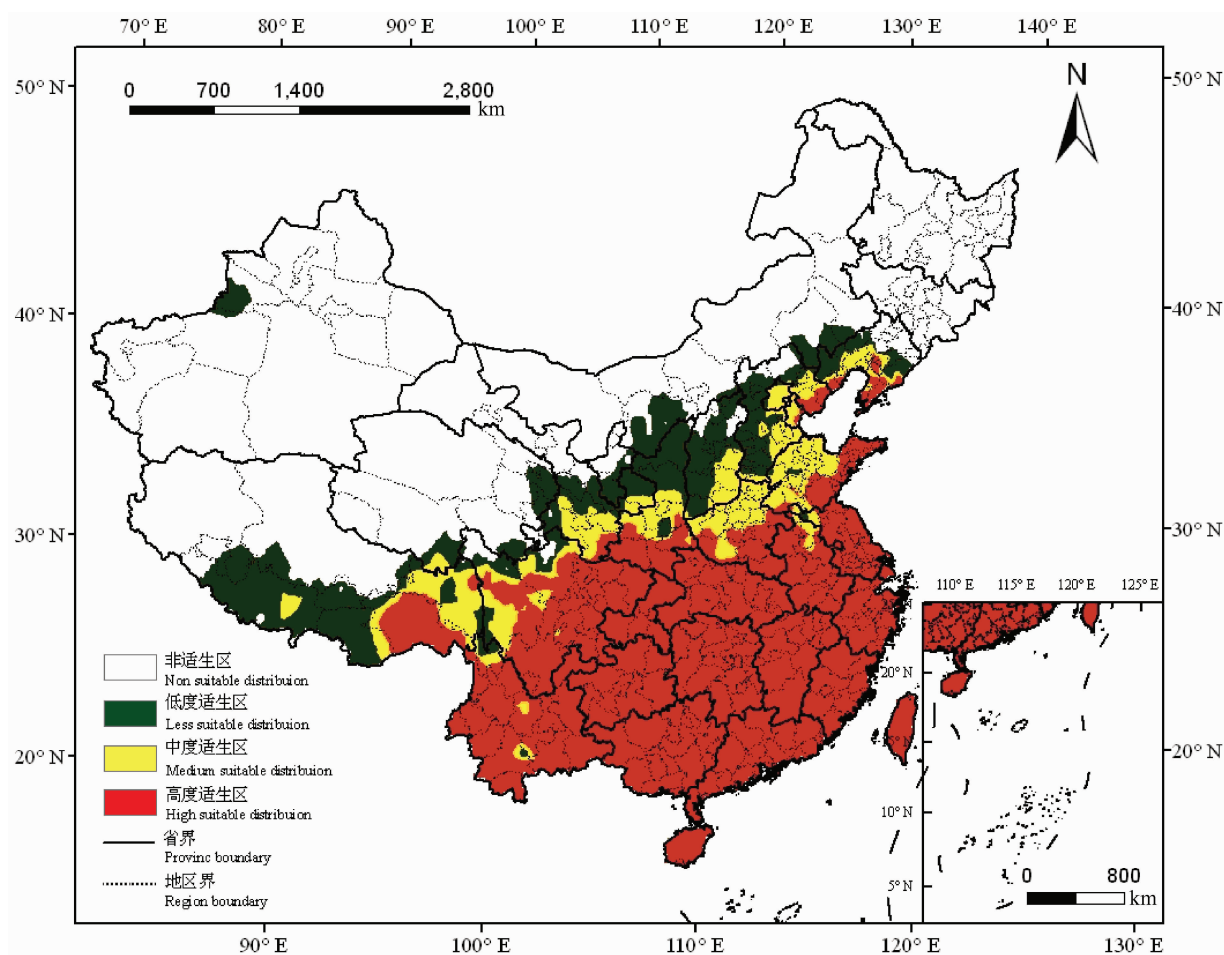


图 2 当前气候条件下松材线虫在我国的潜在气候适生区

Fig. 2 The potential geographical distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* under current climate

区、山西中南部地区、河北东南部与山东交界的局部地区、北京和天津。

低度适生区主要分布于西藏的日喀则地区、山南地区和拉萨市、青海省海东地区和黄南州东北部、甘肃省兰州地区、庆阳地区北部和会宁县、宁夏固原地区、陕西北部地区、山西西部和北部地区、河北西部地区、内蒙古、辽宁和河北交界的局部地区、内蒙古的乌审旗东部和新疆的昭苏县。

2.3 未来 30 年 (2010—2039) 松材线虫在我国的潜在气候适生区

利用 TYN SC 2.0 预测的 2010—2039 年全球气候数据集对松材线虫在我国的潜在气候适生区进行预测,得到结果如图 3 所示。对比图 3 和图 2 可知,未来 30 年中松材线虫在我国的潜在气候适生区相比当前气候条件下呈现出范围增加、向北扩展的变化趋势。

高度适生区:四川省内高度适生区分布北界由原来的松潘县扩展至若尔盖县、甘肃省由徽县扩展至整个天水地区、陕西省由汉中地区扩展至铜川地区、河南省由南阳地区扩展至郑州地区;一些省份高度适生区将增加分布范围,主要为西藏区新增了山南地区,拉萨地区和日喀则地区的少数县市、辽宁省的东北和西北部均增加了高度适生区;山西省东部地区由当前的中度适生区将变化成高度适生区。

中度适生区:甘肃和陕西由中南部扩展至两省的中部、山西省由中部扩展至北部;一些省份中度适生区将增加分布范围,主要为河北西部由当前的低度适生区演变成中度适生区、辽宁与内蒙古交界处周围地区以及辽宁、吉林和内蒙古 3 省交界处周围地区将作为新增的中度适生区。

低度适生区:陕西和宁夏两省将从中南部转移至中部,在山西将由北部转移至内蒙古中部,在

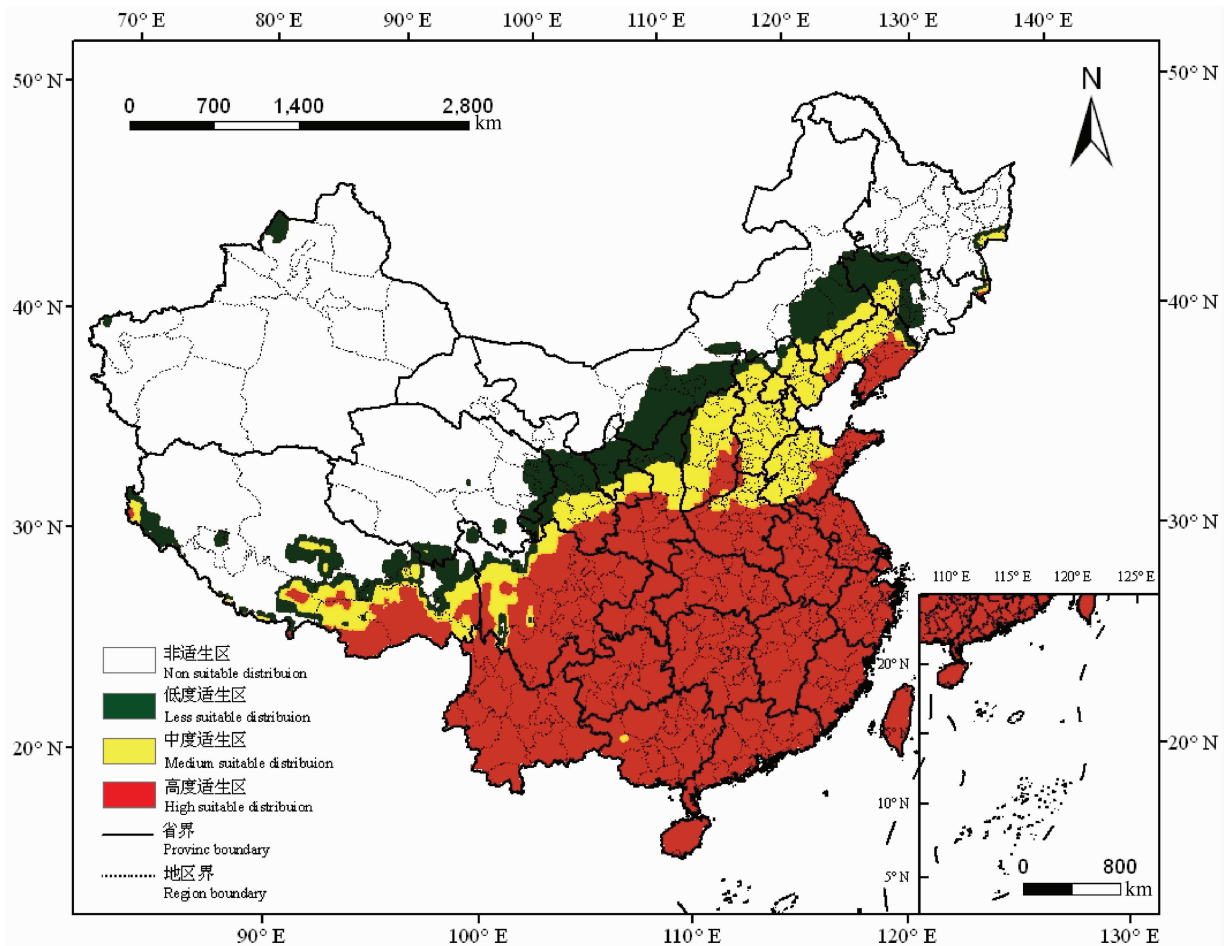


图 3 未来 30 年松材线虫在我国的潜在气候适生区

Fig. 3 The potential geographical distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* in the next 30 years

辽宁和内蒙交界处将向内蒙古转移。同时吉林西部地区还将成为新的松材线虫适生区。

3 讨论

3.1 松材线虫适生区预测结果比较

本文预测出当前气候条件松材线虫在我国的适生区同冯益明等(2009)的预测结果相比总体上—致,均认为华南、西南以及华北的河北、山东是松材线虫在我国的主要适生区,但也存在几个显著不同点:①对于新疆的预测结果,冯益明等(2009)预测结果认为喀什地区、和田地区和巴州为松材线虫低度适生区,但 CLIMEX 预测认为新疆仅伊犁州南部的昭苏县为低度适生区,分析原因认为主要在于环境湿度的影响,从分布来看当前松材线虫在全世界主要还是生存于湿润的气候当中,因此 CLIMEX 认为新疆干旱少雨的环境不适合松材线虫的生存;②分布边界的不同,特别是对辽宁省的预测结果。冯益明等(2009)认为河北为松材线虫分布北界,而 CLIMEX 认为辽宁为松材线虫分布北界,分析认为差异的原因主要在于温度的设置上的不同,前者通过主要通过控制年均温来限制某地的适生性,而 CLIMEX 则是通过有效积温和限制性高低温度来衡量某地的适生性。

3.2 未来气候条件下适生区预测的多变性

气候预测模型对未来有害生物适生区范围的预测具有重要影响。目前 IPCC 收录的气候预测模型已超过 20 个,而且未来很可能还会产生更多,所以选择不同的模型会因为产生多种气象模拟数据而生成不同的适生区预测结果。对于气候模型的使用,国内外也无一个统一的标准,有单独使用某个模型的也有综合多个模型的。本文选择 CRU 中心提供的德国 ECHAM4 模型主要基于其两个优点:一是 CRU 数据分辨率很高,研究认为模式的高分辨率有助于提高模拟结果的准确性(高学杰等,2006);二是根据王淑瑜和熊喆(2004)等的研究结果,其分析比较了 CGCM1、CSIROMK2、ECHAM4、HadCM2 和 GFDL5 个模型对东亚地区气温和降水的模拟情况后,发现 ECHAM4 和 HadCM2 模型模拟效果较好,而由于 TYN SC2.0 数据集中包含的是 HadCM3 模型,因此本文最终选择 ECHAM4 模型用作预测。

3.3 防止松材线虫扩散的一些建议

①防止传播媒介松褐天牛的扩散。松褐天牛在我国的分布范围较广,除黑龙江、青海、宁夏、甘肃、山西等少数几个省无报道有分布外,其余省份皆有其分布报道(宋红敏和徐汝梅,2004;杨洪,2006),其中以东南部危害最为严重。但是受未来气候变暖的影响,松褐天牛在我国的分布范围可能扩大,危害程度可能增加,而在 2006 年松褐天牛已经跨过辽宁进入到吉林省境内(王志明等,2006)。因此要防止松材线虫在我国的扩散蔓延,必须想尽一切办法阻止松褐天牛在我国的进一步扩散,特别在东北的吉林省、西南的云南省和西藏自治区。

②严格遵守植物检疫条例,加强植物检疫管理。疫区内进行疫情消除,禁止调运疫区苗木至非疫区。

③设立重点监测点。根据国家林业局最新公布的松材线虫疫区,应在邻近疫区的非疫区点内、新增的疫区内和邻近疫区省份的其它省份开展松材线虫监测工作,特别是邻近松材线虫分布边界的甘肃、宁夏、山西、河北、西藏和云南。

致谢:感谢中国科学院动物研究所戈峰研究员在文章撰写和修改过程中提供的帮助和指导。

参考文献 (References)

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. Food and Agriculture Organization. 35—36.
- Chejara VK, Kriticos DJ, Kristiansen P, Sindel BM, Whalley RDB, Nadolny C, 2010. The current and future potential geographical distribution of *Hyparrhenia hirta*. *Weed Research*, 50:174—184.
- IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change// Nakicenovic N, Swart R (eds.). Cambridge University Press, UK. 570.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds.). Cambridge University Press,

- Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 5.
- Mika AM, Newman JA, 2010. Climate change scenarios and models yield conflicting predictions about the future risk of an invasive species in North America. *Agricul. Forest Entomol.*, 12:213—221.
- Mika AM, Weiss RM, Olfert O, Hallett RH, Newman JA, 2008. Will climate change be beneficial or detrimental to the invasive swede midge in North America? Contrasting predictions using climate projections from different general circulation models. *Glob. Chang. Biol.*, 14:1721—1733.
- Stephens AEA, Kriticos DJ, Leriche A, 2007. The current and future potential geographical distribution of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Bull. Entomol. Res.*, 97:369—378.
- 冯益明, 张海军, 吕全, 梁军, 张星耀, 2009. 松材线虫病在我国适生性分布的定量估计. *林业科学*, 45(2):65—71.
- 高学杰, 徐影, 赵宗慈, Pal JS, Giorgi F, 2006. 数值模式不同分辨率和地形对东亚降水模拟影响的试验. *大气科学*, 30(2):185—192.
- 国家林业局, 2011. 1. 28. 国家林业局第 2 号公告《关于我国 2011 年松材线虫病疫区的公告》.
- 江浩, 1996. 松材线虫病的分布及其发生特点. *山东林业科技*, 3:38—41.
- 吕全, 王卫东, 梁军, 严东辉, 贾秀贞, 张星耀, 2005. 松材线虫在我国的潜在适生性评价. *林业科学研究*, 18(4):460—464.
- 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*, 24(4):20—25.
- 宁眺, 方宇凌, 汤坚, 孙江华, 2004. 松材线虫及其关键传媒墨天牛的研究进展. *昆虫知识*, 41(2):97—104.
- 秦复牛, 潘沧桑, 2003. 松材线虫病研究进展(综述). *安徽农业大学学报*, 30(4):370—376.
- 宋红敏, 徐汝梅, 2006. 松墨天牛的全球潜在分布区分析. *昆虫知识*, 43(4):535—540.
- 宋红敏, 张清芬, 韩雪梅, 徐岩, 徐汝梅, 2004. CLIMEX: 预测物种分布区的软件. *昆虫知识*, 41(4):379—386.
- 宋玉双, 臧秀强, 1989. 松材线虫在我国的适生性分析及检疫对策初探. *森林病虫通讯*, 4:38—41.
- 王淑瑜, 熊喆, 2004. 5 个海气耦合模式模拟东亚区域气候能力的初步分析. *气候与环境研究*, 9(2):240—250.
- 王玉嫵, 宋玉双, 臧秀强, 刘阳, 1991. 我国松材线虫病十年历史回顾及今后防治对策. *森林病虫通讯*, 3:39—42.
- 王志明, 皮忠庆, 候彬, 2006. 吉林省发现松墨天牛. *中国森林病虫*, 25(3):35.
- 杨洪, 2006. 松褐天牛生物学特性和交配行为的研究. 博士学位论文. 重庆:西南大学.
- 杨振德, 赵博光, 郭建, 2003. 松材线虫行为学研究进展. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 27(1):87—92.
- 张建军, 张润志, 陈京元, 2007. 松材线虫媒介昆虫种类及其扩散能力. *浙江林学院学报*, 24(3):350—356.
- 张建平, 蔡新, 2007. 温度对松材线虫的生物效应. *四川林业科技*, 28(5):69—72.
- 赵宗慈, 2006. 全球气候变化预估最新研究进展. *气候变化研究进展*, 2(2):68—70.
- 郑光华, 廖太林, 李百胜, 陈坚, 张瑞生, 陈集翰, 2004. 进境木质包装湿度与携带线虫规律的探索. *植物检疫*, 18(4):198—200.