

利用 MaxEnt 预测橡胶南美叶疫病菌 在全球的潜在地理分布

曾 辉¹, 黄冠胜², 林 伟³, 梁忆冰³, 李志红^{1*}

(1 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193, 2 云南省出入境检验检疫局, 昆明 650288;

3 国家质量监督检验检疫总局, 北京 100088)

摘要 橡胶南美叶疫病菌在美洲地区引起橡胶树严重的落叶病害, 是亚太地区国家重要的检疫性有害生物。本文在 MaxEnt 预测全球范围内气候条件适宜该菌存活区域的基础上, 结合寄主分布推测该菌的潜在地理分布。预测结果显示, 在 54 个天然橡胶种植国家或地区中, 除了该菌目前分布国家或地区、几内亚比绍和马里, 其余 33 个国家或地区气候适宜值大于 10 的区域为该菌的潜在地理分布区, 加强这些区域的调查监测对保护当地橡胶种植有重要意义。

关键词 橡胶南美叶疫病菌, MaxEnt, 潜在地理分布; 适生性分析

中图分类号 S 435 76

Prediction of potential geographic distribution of *Microcyclus ulei* in the world using MaxEnt

Zeng Hui¹, Huang Guansheng², Lin Wei³, Liang Yibing³, Li Zhihong¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2 Yunnan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Kunming 650288, China,

3 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Beijing 100088, China)

Abstract South American leaf blight (SALB), caused by *Microcyclus ulei*, is one of the most serious disease of Para rubber in America, and the pathogen is an important quarantine pest of the Asia-Pacific region. In this paper, the potential occurrence and establishment areas were predicted by using the MaxEnt based on the climate variables with the distribution of Para rubber. The results showed that the pathogen could establish in the rubber-planting areas, where the suitable climatic value is above 10. Except Guinea-Bissau, Mali and the countries where the pathogen distributed, the other rubber-planting countries are the potential geographic distribution areas of *M. ulei*. Strengthening surveillance and phytosanitary measures in these regions has vital significance for local rubber plantation.

Key words *Microcyclus ulei*, MaxEnt; potential geographic distribution, suitability analysis

橡胶南美叶疫病菌 [*Microcyclus ulei* (Henn.) Arx], 属于子囊菌亚门 (Ascomycota), 球腔菌目

收稿日期 2007-09-24 修订日期 2008-01-28

基金项目 国家“973”课题(2002CB111405), “十一·五”国家科技支撑计划课题(2006BAD08A15), 国家质量监督检验检疫总局标准法规中心课题

* 通讯作者 E-mail: lizh@cau.edu.cn

(Mycosphaerellales), 球腔菌科 (Mycosphaerellaceae) 的一种专性寄生真菌, 能引起三叶橡胶树 (*Hevea* spp.) 落叶甚至整株死亡。橡胶南美叶疫病最早发生在南美洲亚马逊河流域的原始森林, 人工大面积种植橡胶后开始暴发流行并被人们所注意。Ule 在 1905 年首次报道了此病害^[1], 随后几十年该病害四处传播, 巴西、苏里南和巴拿马多个橡胶种植园因此病害而被迫关闭, 至今橡胶南美叶疫病仍是南美洲天然橡胶种植业发展的主要障碍^[2]。目前亚洲和非洲天然橡胶种植面积占世界 90% 以上, 且 Weir 在 1929 年以及 Sripathi 在 1973 年都曾分别提出过亚洲橡胶种植地区的气候条件与南美洲相似, 可能适宜该菌生存^[3-4], 所以防止此病菌扩散至亚洲和非洲对世界天然橡胶产业有重要意义, 此病菌也被亚洲及太平洋地区植物保护公约组织 (APPPC) 各成员国列为重要的检疫性有害生物^[2]。

根据前人研究, 寄主、气温、相对湿度、降雨和光照是影响橡胶南美叶疫病菌生存的主要因素^[1]。其中, 寄主和气温决定该菌在纬度上的分布, 春冬季节的低温限制寄主的分布以及病菌子孢子的萌发; 降雨量及降雨类型影响该菌在经度上的分布, 一年内有明显长时间的旱季不适合该菌生存, 因为该菌产生孢子、释放孢子和孢子萌发都需要较高的相对湿度^[5]; 长时间直接光照能杀死病菌孢子^[6], 可限制其远距离自然传播。

研究全球气候条件适宜橡胶南美叶疫病菌存活区域, 再结合其专性寄主的分布, 能够推测出该菌的潜在地理分布, 从而为进一步风险评估和监测区域的确定提供一定的科学依据, 现代技术特别是计算机辅助成为物种潜在地理分布预测研究的重要手段, 如常用的有 CLIMEX、GARP 和 DIVA-GIS 包含 DOMAIN 和 BIOCLIM 模型等^[7]。本研究采用一种新的预测软件 MaxEnt 研究该菌在全球的潜在地理分布。

早在 1957 年 Jaynes 曾提出最大熵 (maximum entropy, MAXENT) 理论可应用于概率密度评估^[7], 从此 MAXENT 逐步在计算机科学和统计等领域得到实际应用, 尤其是在自然语言处理方面应用较广^[8]。此理论在生物生态学中可表达为一个物种在没有约束的情况下, 会尽最大可能扩散蔓延, 接近均匀分布^[9]。Steven Phillips, Miro Dudik 和 Rob Schapire 等人基于此原理用 JAVA 语言编写了 MaxEnt 软件, 用于预测物种的潜在地理分布^[10]。

此软件运行需要两组数据, 一是目标物种的现实地理分布点, 以经纬度的形式表示; 二是物种现实分布地区和目标地区的环境变量, 主要是气候数据、植被覆盖和地形地貌等。MaxEnt 根据物种现实分布点和现实分布地区的环境变量运算得出预测模型, 再利用此模型模拟目标物种在目标地区的可能分布情况^[9]。

1 材料与方法

1.1 工具及数据

本研究主要应用的软件工具及数据分别如下。

MaxEnt 软件: 从 www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent 免费下载, 版本 3.0。

DIVA-GIS 软件: 从 <http://www.diva-gis.org/> 免费下载, 版本 5.4。

橡胶南美叶疫病菌地理分布数据: 分布数据的获取可以通过 3 种途径, 首先是依据国内外公开发表的相关论文; 其次是通过博物馆或标本馆中的标本记录; 另外还可以通过实地考察来获取分布数据^[8]。本研究的分布数据来源于国内外公开发表的论文^[1, 11-13], 根据 MaxEnt 软件要求, 将橡胶南美叶疫病菌实际分布点按物种名、分布点经度和分布点纬度顺序储存成后缀名为 csv 格式的文件。

环境变量数据: 本研究采用几个主要影响橡胶南美叶疫病菌分布的气候因子作为环境变量, 分别为年平均温度、年降雨总量、最寒冷季度的平均温度、最寒冷季度的降雨量、最干燥季节的降雨量、最干燥季节的平均温度和季度降雨量。本次研究采用的是 1950—2000 年间的气候数据, 从 <http://www.diva-gis.org/climate.htm> 免费下载, 并转换成 MaxEnt 软件所要求的后缀名为 asc 格式的文件。

1.2 分析方法

将分布数据和环境数据导入 MaxEnt, 根据实际分布点数量情况进行调试, 将 80% 的分布数据用于建立预测模型, 20% 用于验证模型, 其余参数设置全部为软件默认, 运行得出全球气候条件适宜橡胶南美叶疫病菌存活区, 利用 DIVA-GIS 显示结果图, 最后结合天然橡胶树分布情况推测该菌的潜在地理分布。

2 结果与分析

2.1 橡胶南美叶疫病菌及其寄主分布现状

橡胶南美叶疫病菌目前广泛分布在北纬 18° 至

南纬 25° 之间的美洲国家地区, 包括墨西哥、伯里兹、哥斯达黎加、萨尔瓦多、危地马拉、洪都拉斯、尼加拉瓜、巴拿马、特立尼达和多巴哥、海地、玻利维亚、巴西、哥伦比亚、厄瓜多尔、法属圭亚那、圭亚那、秘鲁、苏里南和委内瑞拉等^[1,11]。非洲和东南亚地区的橡胶种植区还未有橡胶南美叶疫病发生的报道。

而橡胶南美叶疫病菌的专性寄主三叶橡胶树主要分布在以下国家, 亚洲: 泰国、印度尼西亚、马来西亚、印度、越南、斯里兰卡、文莱、老挝、菲律宾、柬埔寨、缅甸、孟加拉国、新加坡和中国(海南省、云南省、广西壮族自治区、广东省、福建省和台湾省); 大洋洲: 巴布亚新几内亚; 非洲: 几内亚比绍、马里、几内亚、利比里亚、科特迪瓦、加纳、尼日利亚、喀麦隆、中非、加蓬、刚果、刚果民主共和国、肯尼亚、乌干达和坦桑尼亚; 美洲地区: 美国(佛罗里达州)、墨西哥、伯里兹、危地马拉、洪都拉斯、萨尔瓦多、尼加拉瓜、哥斯达黎加、巴拿马、苏里南、委内瑞拉、哥伦比亚、厄瓜多尔、巴西、秘鲁、玻利维亚、圭亚那、法属圭亚那、特立尼达和多巴哥、波多黎各、多米尼加、海地、古巴和牙买加^[11,14-16]。

2.2 MaxEnt 预测结果

MaxEnt 预测全球气候条件适宜橡胶南美叶疫病菌存活区域与程度如图 1, 适宜值越高代表气候条件越适宜此菌存活。该菌目前分布地的适宜值都在 10 以上, 且病害高发地的适宜值在 30 以上, 所以将适宜值划分为 3 个等级: 适宜值 ≤ 10 , 适宜度为低, 一年当中有较短的一段时间适宜该菌存活; $10 < \text{适宜值} < 30$, 适宜度为中, 一年当中有较长的一段时间适宜该菌存活; 适宜值 ≥ 30 , 适宜度为高, 一年当中有很长的一段时间适宜该菌存活。仅考虑气候因素, 适宜值 > 10 的区域可以认为是该菌的潜在地理分布区。

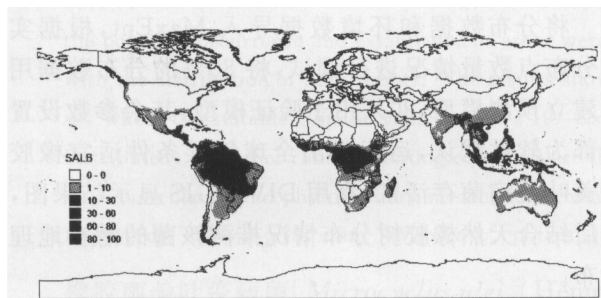


图 1 全球气候条件适宜橡胶南美叶疫病菌存活区域

具体结果如下:

在美洲地区, 预测结果显示除了现实分布地区

适宜该菌存活外, 还有在加拿大和美国东部沿海地区、美国北纬 34° 至墨西哥北纬 18° 之间部分地区、巴西南纬 25° 以南至阿根廷东北部地区、巴拉圭以及智利南方部分地区的气候条件适宜值在 1~10, 一年当中有较短的一段时间适宜该菌存活; 美国佛罗里达州南部地区和夏威夷群岛的适宜值在 10~30, 该菌应该能在这两个地方存活较长时间。

在欧洲, 结果显示欧洲大部分地区气候条件不适宜该菌存活, 只有意大利、希腊、土耳其和西班牙等国沿地中海部分地区以及葡萄牙西部沿海地区的气候条件适宜值在 1~10。

在非洲, 摩洛哥、阿尔及利亚和突尼斯 3 国的沿海地中海地区、北纬 12° 至南纬 15° 之间广大地区、东南部沿海地区和马达加斯加都适宜该菌存活, 特别是北纬 11° 至南纬 9° 之间、埃塞俄比亚西南和马达加斯加东部气候条件适宜值都在 20 以上, 部分地区甚至在 60 以上, 非常适宜该菌存活。

在大洋洲, 澳大利亚除东北沿海局部地区气候条件适宜外, 大部分地区气候条件适宜值都小于 10; 新西兰北部地区气候条件适宜值在 1~10; 巴布亚新几内亚、所罗门群岛、和斐济等太平洋群岛大部分地区气候条件适宜值在 30 以上, 适宜该菌存活。

在亚洲, 气候条件适宜橡胶南美叶疫病菌存活的地区集中在东亚和南亚北纬 35° 以南的区域以及巴基斯坦、沙特阿拉伯和也门。在印度东北、西南地区和安达曼岛、斯里兰卡、缅甸和泰国南方狭长地区、柬埔寨沿海地区、老挝、越南、菲律宾、文莱、马来西亚和印度尼西亚部分地区的气候条件适宜值都在 60 以上, 非常适宜该菌存活; 而在我国, 云南省南部、广西壮族自治区和广东省南部沿海、海南省和台湾省的气候条件适宜值在 10~30, 比较适宜该菌存活。

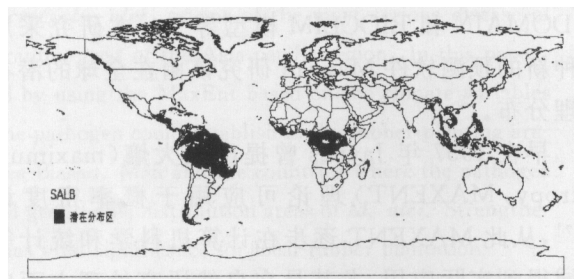


图 2 橡胶南美叶疫病菌潜在地理分布区

如图 2, 在气候因素基础上再考虑寄主因素, 气候适宜值大于 10 的橡胶种植国家或地区为该菌的潜在地理分布区: 在美洲, 美国(佛罗里达州南部)、墨西哥(东南部及部分沿海地区)、危地马拉、伯里

兹、萨尔瓦多、洪都拉斯、尼加拉瓜、哥斯达黎加、巴拿马、委内瑞拉(南部以及北部沿海地区)、哥伦比亚(低海拔地区)、圭亚那、苏里南、法属圭亚那、厄瓜多尔(低海拔地区)、秘鲁(东部低海拔地区)、玻利维亚(东部和北部低海拔地区)、巴西(南纬 25° 以北和东部沿海)、特立尼达和多巴哥、波多黎各、多米尼加、海地、古巴和牙买加;在非洲,几内亚(中部和南部地区)、利比里亚、科特迪瓦(西部地区和南部地区)、加纳(西南地区)、尼日利亚(南部地区)、喀麦隆(中部和南部地区)、中非(中部和南部地区)、加蓬、刚果(中部和北部大部分地区)、刚果民主共和国、乌干达、肯尼亚(西部小部分地区和东南沿海)和坦桑尼亚(北方部分地区和东部沿海地区);在大洋洲,巴布亚新几内亚;在亚洲,印度(东北部、南部沿海地区和安达曼岛)、孟加拉国(东部部分地区)、缅甸(北部地区、西部地区 and 南部狭长地区)、泰国(西部地区 and 南部狭长地区)、斯里兰卡(南部地区)、马来西亚、柬埔寨(东部地区和西部地区)、越南(中部和南部地区)、老挝、文莱、菲律宾、新加坡、印度尼西亚和中国(海南省、云南省西双版纳地区、广西壮族自治区南部沿海、广东省南部沿海和台湾省)。

3 讨论

国内目前应用较广的 CLIMEX、GARP 和 DIVA-GIS 适宜分析对象为大型动物、植物或昆虫^[7], 针对植物病菌的适生性分析方法主要有生物学建模与 GIS 分析相结合或者是在目标区域进行接种试验^[17-18], 这两种方法对隔离要求比较高, 试验操作也比较复杂。国内外也有报道使用 CLIMEX 软件结合寄主对病菌进行预测分析^[19-20], 不过其适用性还需要进一步讨论。MaxEnt 是近几年刚开发出来的物种地理分布预测软件, 日前关于其应用的报道虽然不多, 但对预测结果进行 AUC (Areas Under Curve 曲线下面积) 分析后显示, 其结果要优于同类预测模型 GARP、DOMAIN 和 BIOCLIM, 特别是在物种现实分布数据不全的情况下, MaxEnt 仍然能得到较为满意的结果^[21-22], 所以本研究尝试使用 MaxEnt 对橡胶南美叶疫病菌的潜在地理分布进行初步分析。为了使 MaxEnt 预测结果更为准确, 首先需要一定量的精确又有代表性物种地理分布点数据, 其次还需要选择影响物种分布的关键环境变量以建立相对准确的模型, 而其基础就是要充分了解物种的生物学和生态学特性。

预测结果显示, 在全球 54 个天然橡胶种植国家或地区里, 除了非洲的几内亚比绍和马里以及目前

有该菌分布的 19 个国家或地区, 其余 33 个国家或地区都是该菌的潜在地理分布区。在本次研究中, 预测模型经 20% 实际分布点数据验证, 结果显示在该菌实际分布地区的预测结果与实际分布基本吻合; 采用的各个环境变量对模型建立的贡献分别为年降雨总量 (56.5%)、最寒冷季度的平均温度 (26.6%)、年平均温度 (6.1%)、季度降雨量 (5%)、最寒冷季度的降雨量 (3.9%)、最干燥季节的降雨量 (1%) 和最干燥季节的平均温度 (0.9%), 与前人的研究结果一致; 预测结果的 AUC 值达 0.944, 这 3 点说明预测结果有一定的可信性, 可以为橡胶南美叶疫病菌的检疫措施制定提供依据, 如监测区域可根据全球适宜该菌的存活区域进行确定; 在该菌的潜在地理分布区域, 检疫措施的力度要进一步加强以防止该菌传入定殖。不过由于条件所限, 本研究所采用的寄主分布数据大部分只精确到国家层面, 在以后的研究中, 若能加入天然橡胶在各国详细的分布区域, 预测结果则能够更为精确。

参考文献

- [1] Chee K H, Holliday P South American leaf blight of *Hevea* rubber [M] Malaysian Rubber Research and Development Board, 1986
- [2] 中华人民共和国动植物检疫局, 农业部植物检疫试验所 中国进境植物检疫有害生物选编 [M] 北京 中国农业出版社, 1997 70-71
- [3] Weir J R The South American leaf blight and disease resistant rubber [J] Quarter Journal Rubber Research Institute, 1929, 1 91-97
- [4] Sripathi R B Potential threat of South American leaf blight to the plantation rubber industry in the Southeast Asia and Pacific region [J] FAO Plant Protection Bulletin, 1973, 21 107-113
- [5] 曾辉, 黄冠胜, 林伟, 等 南美叶疫病菌适生因子及地理分布 [J] 植物保护, 2007, 33(6) 22-25
- [6] Chee K H, Darmono T W, Santos A F Laboratory fungicide tests using cellulose film and leaf discs in the study of South American leaf blight [J] Journal Natural Rubber Research, 1986, 1 98-103
- [7] 葛泉卿, 温孚江 葡萄金黄色化和葡萄带叶蝉在中国的潜在分布区 [J] 植物保护学报, 2006, 33(1) 51-58
- [8] Dudik M, Phillips S J, Schapire R E Performance guarantees for regularized maximum entropy density estimation [C] // Proceedings of the 17th Annual Conference on Computational Learning Theory, 2004
- [9] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J] Ecological Modelling, 2006, 190 231-259
- [10] Phillips S J, Dudik M, Schapire R E A maximum entropy approach to species distribution modeling [C] // Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning Banff, Canada, 2004

- [11] Crop Protection Compendium 2006 Edition[EB/OL] CAB International, 2006
- [12] Martin W J The occurrence of South American leaf blight of *Hevea* rubber trees in Mexico[J] Phytopathology, 1948, 38: 157-158
- [13] Segundo A B, Frank H B Disease of warm climate crops in Bolivia[J] FAO Plant Protection Bulletin, 1957, 5: 172-173
- [14] 无名氏 2004年世界主要产胶国的天然橡胶产量[J] 热带农业工程, 2005, 1: 32
- [15] 无名氏 主产国天然橡胶种植面积[J] 世界热带农业信息, 1999, 9: 27
- [16] 唐仕华 1998年世界天然橡胶主产国的种植面积(万公顷)和产量(万吨)[J] 世界热带农业信息, 2002, 1: 25
- [17] 邵刚, 李志红, 张祥林 苜蓿黄萎病菌在我国的适生性分析研究[J] 植物保护, 2006, 5: 48-51
- [18] 吴浩, 王良华, 吴新华 大豆疫霉在江苏省适生性的初步研究[J] 南京农业学报, 2002, 2: 39-42
- [19] Venette R C, Cohen S D Potential climatic suitability for establishment of *Phytophthora ramorum* within the contiguous United States[J] Forest Ecology and Management, 2006, 231: 18-26
- [20] 张振铎 大豆锈病抗病品种筛选及基于 CLIMEX 的发病适区评估[D] 北京 中国农业大学农学与生物技术学院, 2005
- [21] Elith J, Graham C H, Anderson R P Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J] Ecography, 2006, 29: 129-151
- [22] Hernandez P A, Gatherine C H, Master L L The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods[J] Ecography, 2006, 29: 773-785