

悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析*

朱耿平¹ 王晓静² 刘国卿^{2**} 卜文俊²

(1. 南开大学环境科学与工程学院 天津 300071; 2. 南开大学生命科学学院 天津 300071)

摘要 运用生态位模型 MaxEnt 和 GARP 对悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* (Say) 在我国的潜在分布进行了模拟,并结合其寄主植物悬铃木在我国的分布进行了分析。实验采用悬铃木方翅网蝽在我国的分布数据,结合 6 种气候变量和海拔数据构建模型,并将 MaxEnt 和 GARP 的输出结果进行合意。研究显示 MaxEnt 和 GARP 的模拟结果基本一致,均能较好的模拟悬铃木方翅网蝽在我国的分布,二者均显示山东西南部和中部、四川中部和东部、重庆、陕西中部、河南中部和东部、安徽、江苏、上海、贵州、湖南、江西、浙江、福建中部和北部、云南中部等地区为悬铃木方翅网蝽的适宜分布区,此外,河北中部和南部、山东东部,广东和广西的北部亦具潜在分布的可能性。与 MaxEnt 输出结果相比,GARP 相对较为保守。MaxEnt 输出结果显示年平均气温和极端低温对悬铃木方翅网蝽地理分布的限制作用最大。考虑到该虫对高低温度的耐受性,我国二球悬铃木栽培的南界(南宁和广州)和北界(大连、北京、石家庄、太原)需要重视和监控起来。

关键词 悬铃木, 悬铃木方翅网蝽, 生态位模型, 潜在分布

Potential distribution of sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* in China (Hemiptera: Tingidae)

ZHU Geng-Ping¹ WANG Xiao-Jing² LIU Guo-Qing^{2**} BU Wen-Jun²

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China;

2. College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract Potential distribution of *Corythucha ciliata* (Say) in China were predicted using two ecological niche modelling algorithms (i. e., MaxEnt and GARP). The models were calibrated using domestic records and 6 bioclimatic variables plus elevation. These potential distributions were then evaluated with respect to the distribution of pest host plant (i. e., *Platanus* spp.). Significant variables associating with the bug's occurrence were identified. Both models performed good discriminability compared to random prediction. Result of GARP was a little conservative compared to MaxEnt. High suitable areas identified by the consensus of two models including: southwestern and central Shandong, eastern and central Sichuan, Chongqing, central Shaanxi, eastern and central Henan, Anhui, Jiangsu, Shanghai, Guizhou, Hunan, Jiangxi, Zhejiang, northern and central Fujian, and central Yunnan. In addition, the central and southern Hebei, eastern Shandong, and northern Guangdong and Guangxi also showed high suitability. Significant variables inferred by MaxEnt suggest that the annual mean and extreme low temperature are two major factors that explain bug's distribution. Considering the bug's tolerance to hot and cold temperature, the south (Nanning and Guangzhou) and north border (Dalian, Beijing, Shijiazhuang, Taiyuan) of *Platanus acerifolia*'s distribution should be monitored carefully as a result.

Key words *Platanus* spp., *Corythucha ciliata*, ecological niche modeling, potential distribution

悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* (Say) 隶属于半翅目 (Hemiptera) 异翅亚目 (Heteroptera) 网蝽科 (Tingidae), 它原产北美中东部 (Halbert and

Meeker, 1998), 南美洲、澳洲、欧洲和亚洲相继报道有其入侵 (CABI, 2011)。1964 年该虫侵入欧洲意大利, 随后蔓延至欧洲其他国家和地区

* 资助项目: 国家自然科学基金 (J0630963)。

** 通讯作者, E-mail: liugq@nankai.edu.cn

收稿日期: 2011-06-27, 接受日期: 2011-12-01

(Pellizzari and Dalla, 1997; Mattson *et al.*, 2007; Mutun, 2009), 包括法国、匈牙利、西班牙和土耳其等; 1990 年入侵南美洲智利 (Prado, 1990); 2003 年, 该昆虫在澳大利亚新南威尔士州发现 (Gillespie, 2007)。在亚洲, 该虫在我国, 韩国和日本相继发现, 并迅速蔓延 (Tokihiro *et al.*, 2003; 李传仁等, 2007; Changmann *et al.*, 2008; 肖娉玉等, 2010)。目前, 悬铃木方翅网蝽已经侵入 16 个国家和地区 (CABI, 2011), 从世界范围来看, 该种主要入侵北半球的欧洲和亚洲的温带阔叶和混叶林地区, 在南半球南美智利和澳洲悉尼等地也有分布 (图 1)。悬铃木方翅网蝽在我国属于中度偏高的危险性有害生物, 对我国的生态系统、生物多样性、国土绿化和农林业经济有重大危害 (陈小平等, 2009)。

悬铃木方翅网蝽寄主专一性相对较高, 主要是危害悬铃木属的植物: 一球悬铃木 (*Platanus occidentalis*), 二球悬铃木 (*Platanus acerifolia*) 和三球悬铃木 (*Platanus orientalis*)。另外其对构树 (*Broussonetia papyrifera*)、山核桃 (*Carya ovata*)、白蜡树 (*Fraxinus* sp.) 和桐叶槭 (*Acer pseudoplatanus*) 等也会造成一定的危害 (李传仁等, 2007; 王福莲等, 2008)。其直接的危害是成虫和若虫群集在叶片背面刺吸叶片汁液, 导致叶片组织失水, 严重时可能造成悬铃木提前落叶、树木生长中断、树势逐渐

衰落乃至死亡, 间接危害因其是悬铃木叶枯病菌 (*Gnomonia platani*) 和甘薯长喙壳菌 (*Ceratocystis fimbriata*) 的传播媒介, 刺吸伤口使得法国梧桐炭疽病菌 (*Gnomonia veneta*)、甘薯长喙壳菌、悬铃木溃疡病菌 (*Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani*) 等易于侵染悬铃木 (Ju *et al.*, 2009; 鞠瑞亭和李博, 2010)。

自 2007 年悬铃木方翅网蝽在我国首次报道以来, 我国学者对其分类学、生物学、入侵机理及防治策略等进行了详细的报道。李传仁等 (2007) 对其鉴别特征进行了描述, 蒋金炜和丁识伯 (2008) 对方翅网蝽属相似种提供了检索表, 鞠瑞亭等 (2010) 对其寄主植物范围进行了测定, 刘亚军和李传仁等 (2009) 对其湖北和河南两省的地理种群越冬的过冷却点进行了测定。Ju 等 (2010, 2011a, 2011b, 2011c) 分别对该种的过冷和过热刺激的耐受性进行了研究, 同时对温度影响该虫生长发育进行了探讨, 发现悬铃木方翅网蝽在 19 ~ 33℃ 的温度范围内能够正常发育, 并且随着温度升高其发育时间缩短。他们的研究作为悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析打下了良好的基础, 然而其在我国的潜在分布并未被专门论述。

生态位模型利用物种的已知分布数据和相关环境变量根据一定的算法推算物种的生态需求, 将其运算结果投射至不同的空间和时间中去预测

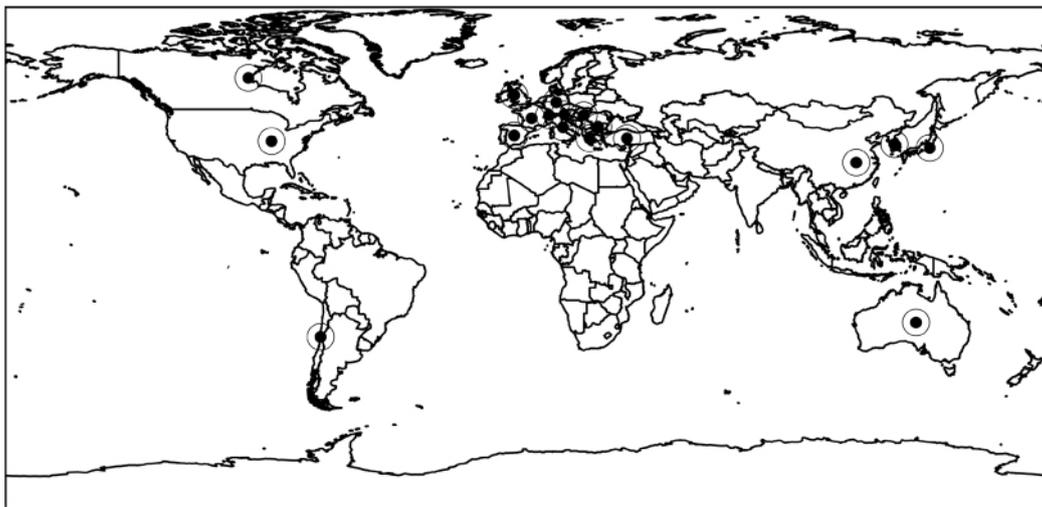


图 1 悬铃木方翅网蝽的世界性分布 (参自 CABI)

Fig. 1 Global distribution of *Corythucha ciliata* (derived from CABI)

圆点为悬铃木方翅网蝽主要分布的国家。

Dots represent occurrence of *Corythucha ciliata* in major countries.

物种的实际分布和潜在分布。近年来,生态位模型被越来越多的应用在入侵生物学、保护生物学、进化生物学、全球气候变化对物种分布和遗传多样性影响的研究(朱耿平等,2012)。在入侵物种模拟中,生态位模型常构建于物种本土的分布地,然后将其投射至入侵地,去推算物种在入侵地的分布可能性(Zhu *et al.*, 2012)。然而本土数据的获取比较困难,采用详细的入侵地分布数据构建模型有时更具参考价值(Zhu *et al.*, 2007)。本次研究基于2种生态位模型(MaxEnt模型和GARP模型),采用悬铃木方翅网蝽在我国的分布数据,结合6种气候变量和海拔数据来构建模型,并将MaxEnt和GARP的输出结果整合,结合寄主植物悬铃木在我国的分布,对悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布进行了预测,对影响其分布的环境因子进行了探讨,为我国对此类害虫的防治策略提供参考。

1 材料与方法

本次研究运用生态位模型旨在对悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布进行模拟,在策略上,采取了一些相对宽容(liberal)的方法,经典的生态位模型构建于物种本土的分布范围,考虑到悬铃木方翅网蝽在各地区所占有的生态位可能不同,同时,由于北美的详细分布数据暂无法获取,我们构建模型所用的分布数据仅局限于亚洲。

1.1 分布数据

在亚洲,悬铃木方翅网蝽分布于中国,日本和韩国。日本和韩国的分布数据源于文献记载,国内的分布数据源于文献记载和国内相关报道,共计整理出分布记录58条,其中国内记录54条。分布数据在Google Map或中国地名录中查找并将其转换成十进制地理坐标的形式。

1.2 环境变量

环境变量数据主要源于Worldclimate中心。WorldClimate由美国加州大学发起的,并与CIAT(International Centre for Tropical Agriculture)及Rainforest CRC合作建立起来的一个可免费下载全球范围的气象栅格数据的网站。气象数据包括当前、往年以及将来的气象数据。Worldclimate基于IPCC的第3次评估汇报总结出对物种分布具有重要意义的19种气候变量([http://www.](http://www.worldclim.org)

[worldclim.org](http://www.worldclim.org), Hijmans *et al.*, 2005)。在环境变量的选择上,充分考虑了对于悬铃木方翅网蝽具有重要生物意义的变量因子。气候是昆虫分布的限制因子,其中极限温度对悬铃木方翅网蝽分布影响较大(Ju *et al.*, 2010, 2011a, 2011c)。过多的环境变量以及它们之间的复杂相关性会增加环境变量的维度,不利于算法的外推和潜在分布的模拟。在19种常见气候变量中,选用了6个相关性低的气候环境变量,它涵盖了气温和降雨量的年平均值和极限值,即年平均温(BIO1),最热月份最高温(BIO5),最冷月份最低温(BIO6),年平均湿度(BIO12),最湿月份湿度(BIO13)和最干月份湿度(BIO14),同时将海拔作为限制因子考虑进去,实验采用了2.5 min的分辨率。

1.3 生态位模型

生态位模型采用MaxEnt软件和GARP软件进行物种分布范围模拟。MaxEnt模型基于一般性目的机械性学习方法应用在预测物种潜在分布区,具有诸多的优点(Phillips *et al.*, 2006),与其他软件相比较,其输出结果更为直观,准确率亦较高(Elith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2006; Hijmans and Graham, 2006)。本次实验采用MaxEnt的系统默认值收敛域限 10^{-5} 和最大迭代次数500,采用了10次重复的交叉验证(crossvalidate)的模型构建方法,即样本分布数据划分成相等的两部分,一部分用于模型构建,剩余的部分用于模型的校正,交叉验证(crossvalidate)对于小样本数据比较有效(Phillips *et al.*, 2006; Phillips and Dudik, 2008),输出模式采用了累积(cumulative)模式,用于和GARP输出结果整合,同时采用指数(logistic)的形式用于结果展示。在GARP算法中,75%的分布数据用于建模,25%用于模型的检验和校正,GARP随机创建了100个重复,基于默认设置,即收敛界限为0.01和最大迭代次数为1000,并采用Anderson等(2003)的方法,在100个重复中选取20个最低遗漏错率(extrinsic omission error)的重复,同时保留中间10个重复,以避免较大的记账错率(commission error rates),在Arc Map GIS 9.2中对选取的最佳模型(共10个)进行加和叠加,最后得到范围值为0~10的栅格图,即悬铃木方翅网蝽在我国的预测分布图。

在模型的整合上,我们采取了相对宽容的策略。首先对于 MaxEnt 和 GARP 模型的输出结果分别采取临界值处理,即将连续的输出结果分布图划分成二元的状态图。对于 MaxEnt 的累积性输出结果,采用 M10 的临界值;对于 GARP 的叠加结果,采取了 G5 的临界值。将临界处理后的模型叠加,得到 MaxEnt 和 GARP 合意的结果。在模型的评价上,采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC 曲线)和遗漏率及卡方测验。ROC 以假阳性率为横坐标,真阳性率为纵坐标,绘制而成的曲线称之为 ROC 曲线,ROC 曲线下的面积即为 AUC 值(area under curve),以此反应模型预测的效果(王运生等, 2007)。一般认为 AUC 值为 0.5~0.69 时预测准确率较低;为 0.7~0.9 时为中等;大于 0.9 时准确率较高。AUC 值的大小受模型构建区域大小的影响,为了得到一个较为真实的 AUC 值,作者采用了涵括所有分布点的最小方形区域用于构建和校对模型,然后将其外推至全国范围来推测悬铃木方翅网蝽的潜在分布。

2 结果与分析

在 MaxEnt 中,随机抽取 50% 的数据用于构建模型,余下 50% 用于模型校正和检验,10 次重复后 AUC 的平均值 0.738,说明模型优于随机模型,标准差 σ 为 0.043,说明了 10 次重复结果的一致性。在 GARP 的输出结果中,10 个最佳模型在 25% 测试数据遗漏率检验后均具有显著性($P < 0.05$)。二者的合意结果显示山东西南部和中部、四川中部和东部、重庆、陕西中部、河南中部和东部、安徽、江苏、上海、贵州、湖南、江西、浙江、福建中部和北部、云南中部等地区为悬铃木方翅网蝽的适宜分布区(图 2)。与 MaxEnt 相比,GARP 的输出结果相对较为保守(图 2)。在 MaxEnt 的结果中,河北中部和南部、山东东部、广东和广西的北部以及台湾和海南的局部地区亦具潜在分布的可能性(图 2)。在本次选取的 6 种气候变量和海拔数据中,MaxEnt 的输出结果显示,对输出模型贡献率较大的是年平均气温(BIO1)和最冷月份的最低气温(BIO6),说明温度对其分布的影响,尤其是低温对其地理分布的限制性。

3 讨论

3.1 悬铃木在我国的分布

鞠瑞亭等(2010)对悬铃木方翅网蝽寄主范围测定后表明,悬铃木方翅网蝽的寄主较为单一,只有悬铃木属植物(一球悬铃木、二球悬铃木、三球悬铃木)是其寄主,虽然其对红叶李、构树和红花槭等植物有取食行为,但不能在这些植物上完成生活史,也不能在这些植物上产卵。悬铃木是一种重要的城市绿化树木品种,广泛应用于城市和农村绿化。在我国,以二球悬铃木(*Platanus acerifolia*, 也称英国梧桐)分布最广,北至大连、北京、石家庄、太原,西到西安、武汉、天水,西南至成都、昆明,南至南宁、广州等地,上海、杭州、金华、南京、徐州、青岛、九江、武汉、郑州、西安等城市栽植的数量较多(图 2);一球悬铃木(*P. occidentalis*, 也称美国梧桐)在我国北部、中部许多城市有引种栽培;三球悬铃木(*P. orientalis*, 又称法国梧桐)在我国西北一带有分布,山西南部城镇有少量栽培(朱云峰, 2008; Ju *et al.*, 2009)。悬铃木广泛的栽培为该虫在我国的入侵和迅速蔓延创造了条件。

3.2 悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布

与 MaxEnt 相比,GARP 的输出结果相对较为保守(图 2),这与王兴亚等(2011)的研究结果相似。二者均显示山东西南部和中部、四川中部和东部、重庆、陕西中部、河南中部和东部、安徽、江苏、上海、贵州、湖南、江西、浙江、福建中部和北部、云南中部等地区为悬铃木方翅网蝽的适宜分布区,河北中部和南部、山东东部、广东和广西的北部以及台湾和海南的局部地区亦具潜在分布的可能性。研究显示悬铃木方翅网蝽对高温(Ju *et al.*, 2011a)和低温(Ju *et al.*, 2010, 2011c)均具有较高的耐受性,其对温度的耐受性可能突破温度对其种群南北扩张的限制,从而在我国进一步蔓延,二球悬铃木的南界(南宁和广州)和北界(北京、石家庄)均有一定分布的可能性,作者认为南北界地区需要监控起来,重视悬铃木方翅网蝽可能的扩散。另外,与北美本土种群和欧洲的入侵种群相比,其生态位是否发生了迁移值得深入研究。

3.3 模型评价及生态因子重要性

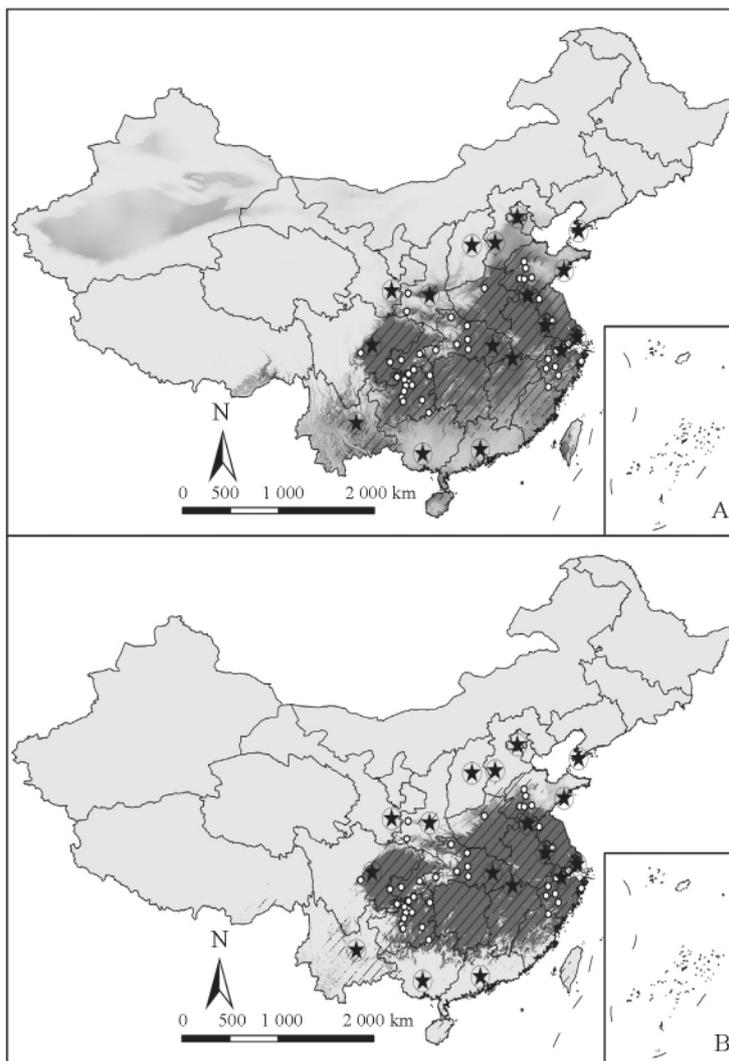


图 2 基于 MaxEnt (A) 和 GARP 模型 (B) 的悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布

Fig. 2 Potential distribution of *Corythucha ciliata* in China based on MaxEnt (A) and GARP (B)

颜色深浅代表分布可能性大小,斜线区域为两模型合意的结果,白色圆点为悬铃木方尺网蝽的分布,星号为二球悬铃木栽培的重要城市。

gray indicates high suitability, slash areas suggest the consensus of MaxEnt and GARP, white dots indicate the presence records of *C. ciliata*, and asterisks indicate major metropolis that have cultivated *P. acerifolia* in China.

生态位模型是利用物种的已知分布数据和相关环境变量根据一定的算法进行运算构建模型,判断物种的生态需求,将其运算结果投射至不同的空间和时间中去预测物种潜在分布。生态位模型从理论上未将物种的迁徙能力,物种之间的相互作用考虑到运算中,它基于生态位的保守性 (Peterson, 2011) 来进行物种潜在分布的模拟具有模型本身的局限性 (Pearson, 2007; 朱耿平等, 2012)。本次研究所采用的国内分布地点,多数位于城市,见于文献记载和报道,分布样点受人为因

素的干扰,本身具有样本偏差性,这些因素可能影响预测结果的准确性。在环境变量选择和模型设置上,我们采用较少的环境变量和宽容的策略,可能会影响预测结果的精确性。

MaxEnt 的输出结果显示低温对悬铃木方翅网蝽地理分布的限制性较大,这与刘亚军和李传仁 (2009), Ju 等人 (2010, 2011b, 2011c) 的研究结果相一致。据刘亚军和李传仁 (2009) 报道,湖北荆州和河南郑州的地理种群 1 日龄和 5 日龄成虫的过冷却点分别为 -16.519°C , -21.646°C 和

-17.329℃, -21.617℃, 地理种群间过冷却点没有明显差异而同一地理种群 1 日龄和 5 日龄成虫的过冷却点差异较大。Ju 等 (2010, 2011c) 研究发现温度高于 -8℃ 是悬铃木方翅网蝽越冬一个重要条件, 对低温 (<0℃) 的耐受性可以通过过冷刺激实现, 这种过冷刺激在我国北方的初冬和东部的早春比较常见, 可能会帮助该虫度过寒冷低温的气候。Ju 等 (2011b) 发现悬铃木方翅网蝽在 19~33℃ 的温度范围内能够正常发育, 并且随着温度升高其发育时间缩短, 其繁殖能力在 30℃ 时最强, 每头雌虫科产卵达 286.8 个, 其他温度时其繁殖能力较低, 在 19℃ 时产卵能力最低, 每头雌虫仅产 87.7 个。

4 小结

GARP 和 MaxEnt 模型均显示我国山东西南部和中部、四川中部和东部、重庆、陕西中部、河南中部和东部、安徽、江苏、上海、贵州、湖南、江西、浙江、福建中部和北部、云南中部等地区为悬铃木方翅网蝽的适宜分布区, 河北中部和南部、山东东部、广东和广西的北部以及台湾和海南的局部地区亦具潜在分布的可能性。自 2007 年悬铃木方翅网蝽在我国首次报道以来 (李传仁等, 2007), 我国学者对其基础生物学开展了一系列研究, 并为其在我国的入侵态势提供了较为客观的评价。我国林业部门于 2007 年将其列为中度偏高的危险性有害生物, 然而悬铃木方翅网蝽其扩散能力较强, 蔓延速度较快。在日本, 自 2001 年首次在名古屋发现该虫传入, 随后的 2 年内相继在横滨、清水、松山和北九州等多个城市发现该虫分布 (Tokihiro *et al.*, 2003)。悬铃木方翅网蝽传播方式在短距离内主要依靠种群自身的扩张, 长距离扩散主要依靠人为传播, 交通工具携带 (鞠瑞亭和李博, 2010)。结合 MaxEnt 和 GARP 的输出结果, 作者认为在有悬铃木的栽培地区应做好季节性的防护工作, 相关园林局应做好检验和防护工作, 防止悬铃木方翅网蝽在我国的进一步蔓延。我国以二球悬铃木分布范围最广, 其南界 (南宁和广州) 和北界 (大连、北京、石家庄、太原) 需要重视和监控起来。

参考文献 (References)

- Anderson RP, Lew D, Peterson AT, 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Model.*, 162 (3): 211—232.
- CABI, 2011. Invasive Species compendium program. <http://www.cabi.org/isc>.
- Changmann Y, Jeong-Oh Y, Shin-Ho K, Gil-Hah K, 2008. Insecticidal properties of bistrifluron against sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *J. Pestic. Sci.*, 33 (1): 44—50.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29 (2): 129—151.
- Gillespie PS, 2007. Sycamorelace bug prime fact 361. <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/floriculture/health/sycamore-lace-bug>.
- Halbert SE, Meeker JR, 1998. The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). <http://edis.ifas.ufl.edu/in347>.
- Hernandez PA, Graham CH, Master LL, Albert DL, 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29 (5): 773—785.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 25 (15): 1965—1978.
- Hijmans RJ, Graham CH, 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Glob. Change Biol.*, 12 (12): 2272—2281.
- Ju RT, Chen GB, Wang F, Li B, 2011a. Effects of heat shock, heat exposure pattern, and heat hardening on survival of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *Entomol. Exp. Appl.*, 141 (2): 168—177.
- Ju RT, Li YZ, Wang F, Du Y, 2009. Spread of and damage by an exotic lacebug, *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae), in China. *Entomol. News*, 120 (4): 409—414.
- Ju RT, Wang F, Li B, 2011b. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. *J. Insect Sci.*, 11 (16): 1—12.
- Ju RT, Xiao YY, Li B, 2011c. Rapid cold hardening increases cold and chilling tolerances more than acclimation in the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *J. Insect. Physiol.*, 57

- (11):1577—1582.
- Ju RT, Xiao YY, Wang F, Li B, 2010. Supercooling capacity and cold hardiness of the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *CryoLetters*, 31(6):445—453.
- Mattson W, Vanhanen H, Veteli TO, Sivonen S, Niemela P, 2007. Few immigrant phytophagous insects on woody plants in Europe: legacy of the European crucible. *Biol. Invasions*, 9(8):957—974.
- Mutun S, 2009. *Corythucha ciliata*, a new platanus pest in Turkey. *Phytoparasitica*, 37(1):65—66.
- Pearson RG, 2007. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. <http://www.ncep.amnh.org>.
- Pellizzari G, Dalla ML, 1997. 1945 — 1995: fifty years of incidental insect pest introduction to Italy. *Acta Phytopathologica Hungarica*, 32:171—183.
- Peterson AT, 2011. Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. *J. Biogeogr.*, 38(5):817—827.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE, 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecol. Model.*, 190(3/4):231—259.
- Phillips SJ, Dudik M, 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2):161—175.
- Prado CE, 1990. Presence in Chile of *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Heteroptera: Tingidae). *Revista Chilena de Entomología*, 18:53—55.
- Tokihiko G, Tanaka K, Kondo K, 2003. Occurrence of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) in Japan. *Research Bulletin of the Plant Protection Service Japan*, 39:85—87.
- Zhu G, Bu W, Gao Y, Liu G, 2012. Potential geographic distribution of Brown Marmorated Stink Bug invasion (*Halyomorpha halys*). *PLoS ONE*, 7(2): e31246.
- Zhu L, Sun OJ, Sang W, Li Z, Ma K, 2007. Predicting the spatial distribution of an invasive plant species (*Eupatorium adenophorum*) in China. *Landscape. Ecol.*, 22(8): 1143—1154.
- 陈小平, 李映平, 李涛, 李见辉, 2009. 悬铃木方翅网蝽风险分析评估. *四川林业科技*, 30(1):59—61.
- 蒋金炜, 丁识伯, 2008. 外来害虫悬铃木方翅网蝽的发生与危害. *植物检疫*, 22(6):374—376.
- 鞠瑞亭, 李博, 2010. 悬铃木方翅网蝽: 一种正在迅速扩张的城市外来入侵害虫. *生物多样性*, 18(6):638—646.
- 鞠瑞亭, 肖娱玉, 薛贵收, 王凤, 李跃忠, 杜予州, 2010. 悬铃木方翅网蝽寄主范围的测定. *昆虫知识*, 47(3): 558—562.
- 李传仁, 夏文胜, 王福莲, 2007. 悬铃木方翅网蝽在中国的首次发现. *动物分类学报*, 32(4):944—946.
- 刘亚军, 李传仁, 2009. 悬铃木方翅网蝽越冬种群的过冷却点测定. *昆虫知识*, 46(6):898—900.
- 王福莲, 李传仁, 刘万学, 万方浩, 2008. 新入侵物种悬铃木方翅网蝽的生物学特性与防治技术研究进展. *林业科学*, 44(6):137—142.
- 王兴亚, 蒋春廷, 许国庆, 2011. 外来入侵种——苹果绵蚜在中国的适生区预测. *应用昆虫学报*, 48(2):379—391.
- 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英, 2007. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. *生物多样性*, 15(4):365—372.
- 肖娱玉, 王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 杜予州, 2010. 上海地区悬铃木方翅网蝽的生活史及发生情况. *昆虫知识*, 47(2):404—408.
- 朱耿平, 刘国卿, 高玉葆, 卜文俊, 2012. 生态位模型基本原理及其在生物多样性保护中的应用. *生物多样性* (已接受).
- 朱云峰, 蒋平, 杨小丰, 牟建军, 2008. 悬铃木方翅网蝽在浙江的风险分析及防控对策. *植物保护*, 34(6):39—42.