

外来入侵种——苹果绵蚜在中国的适生区预测^{*}

王兴亚¹ 蒋春廷² 许国庆^{1**}

(1. 辽宁省农业科学院植物保护研究所 沈阳 110161; 2. 沈阳市沈北新区马刚乡人民政府 沈阳 110124)

摘要 苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) 是我国重要的检疫性害虫,主要为害苹果、海棠等苹果属 (*Malus* Mill.) 植物。目前,该种害虫已在我国一些苹果主产区迅速扩散,并给我国的苹果产业造成了较为严重的经济损失。为了对其进行有效监控,控制其蔓延,制定合理的防治策略,本研究利用 GARP 和 MAXENT 两种生态位模型,结合其寄主地理分布,预测苹果绵蚜在我国的潜在地理分布区。研究结果表明:GARP 和 MAXENT 预测结果相似,但前者预测面积比后者广泛。苹果绵蚜在我国的最适适生区主要分布在东北(辽宁南部)、华北(河北东、南部、北京、天津和山西南部)、华东(山东大部)、华中(河南北部)和西北(陕西中部)。另外,河北南部、山东和河南南部、甘肃东部、四川中南部、陕西大部、云南与西藏的零星地区是苹果绵蚜的中度适生区;黑龙江、吉林、新疆等 20 个省份(市、自治区)的全境是苹果绵蚜低度适生区或不适生区。此外,刀切法 (Jackknife test) 检验结果表明,1 月份平均最高温是影响苹果绵蚜分布最重要的环境变量。最后,提出几点管理苹果绵蚜的方法和防治策略,避免该种害虫传播或入侵到其它苹果产区。

关键词 苹果, 苹果绵蚜, 遗传算法, 最大熵, 潜在分布

Potential distribution of an invasive pest, *Eriosoma lanigerum* in China

WANG Xing-Ya¹ JIANG Chun-Ting² XU Guo-Qing^{1**}

(1. The Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China;

2. The Municipal Government of Township Magang, Shenbei New Area, Shenyang 110124, China)

Abstract The woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), is an important pest in China. This pest is spreading rapidly and has caused serious economic losses in some apple producing areas. In order to monitor and manage this pest effectively it is necessary to investigate its potential geographical distribution worldwide. We used two ecological niche models, the Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP) and the Maximum Entropy (MAXENT) model, along with the geographical distribution of the host plant, the apple tree (*Malus pumila*), to predict the potential geographical distribution of *E. lanigerum*. The potential distributions estimated by both models are generally consistent but GARP predicted a larger potential distribution than MAXENT. The results also indicate that the most suitable areas for woolly apple aphid colonization in China are mainly restricted to Northeast China (southern Liaoning), North China (southeast of Hebei, Beijing, Tianjin and southern Shanxi), East China (most of Shandong), Central China (northern Henan) and Northwest China (middle Shanxi). Some parts of southern Hebei, Shandong, Henan and eastern Gansu Provinces are predicted to be moderately suitable for this pest. In addition, some parts of 20 Provinces were predicted to have low suitability or be unsuitable (e. g. Heilongjiang, Jilin and Xinjiang). A Jackknife test implemented within MAXENT showed that the average maximum January temperature is the most important environmental variable affecting the distribution of *E. lanigerum*. The results suggest several reasonable regulations and management strategies that should be adopted to prevent the spread of this high-risk apple pest to currently unaffected apple producing areas.

Key words *Malus pumila*, *Eriosoma lanigerum*, genetic algorithm, maximum entropy, potential distribution

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目“东北地区农作物主要地下害虫的控制技术与示范”(201003025)。

** 通讯作者, E-mail: xgq66@126.com

收稿日期:2010-03-31, 接受日期:2010-07-08

苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) 隶属于半翅目 Hemiptera 瘿绵蚜科 Pemphigidae, 是国内外重要的植物检疫性害虫, 主要为害苹果 (*Malus pumila* Mill.) 和海棠 (*Malus spectabilis* (Ait.) Borkh.) 等苹果属 (*Malus* Mill.) 植物 (Brown *et al.*, 1991; Blommers, 1994; Adrian *et al.*, 2005; 仇贵生等, 2007; 李霞等, 2007; 谭挺等, 2008; Lavandero *et al.*, 2009)。近年来, 由于世界各地大规模引种、种植苹果树, 导致苹果绵蚜疫情迅速扩散、传播。通常该种蚜虫可通过无翅低龄若蚜和有翅蚜的形式进行近距离的主动迁移、扩散, 也可随苹果等苗木、接穗以及果品调运等方式进行远距离的被动传播 (Asante *et al.*, 1993; 王典章等, 2005)。目前, 该种害虫已广泛分布于 70 余个国家和地区 (董锦花等, 2008)。苹果绵蚜于 1914 年传入我国, 现已广泛分布于辽宁、河南及陕西等 14 省 (市、自治区) (阴启忠等, 2006; 杨勤民等, 2008; 陆俊娇等, 2008; 武强等, 2009)。

苹果绵蚜的生活周期复杂, 不同地区生活周期型存在差异。在北美, 该种蚜虫营异寄主全周期生活, 原生寄主为美国榆 (*Ulmus americana* L.), 次生寄主以苹果属 (*Malus* Mill.) 植物为主; 在其它一些地区, 苹果绵蚜营不全周期生活, 全年生活在苹果树上 (Blackman and Eastop, 1994)。通常以成、若蚜群聚在果树枝干的病斑、伤斑、剪口及根部, 造成枝干与根部形成瘤状突起, 限制了植物汁液的正常流动, 同时也易引起受害部位发生真菌的感染 (Weber and Brown, 1988)。为害严重时, 常造成树势衰弱, 甚至全植株枯死 (Brown *et al.*, 1995)。此外, 苹果绵蚜还可直接危害果实, 常聚集在果实的梗洼和萼洼等处, 严重影响果实的产量与品质 (王朴等, 2007)。近年来, 我国部分苹果主产区苹果绵蚜危害严重。例如, 1999 年, 山东省莱阳市苹果绵蚜危害面积达 $1\,333\text{ hm}^2$, 损失苹果达 $2 \times 10^6\text{ kg}$ (张强和罗万春, 2002); 2000—2002 年山东省日照市农业植物有害生物疫情普查结果表明, 苹果绵蚜在该市发生面积达 $8\,000\text{ hm}^2$, 一般果园虫株率在 $10\% \sim 20\%$, 发生严重的果园达 80% 以上, 全市年损失苹果约 $5 \times 10^6\text{ kg}$; 2005 年, 江苏省苹果绵蚜发生面积 $4\,333\text{ hm}^2$, 造成损失达 1 000 万元 (褚妹频等, 2008)。鉴于苹果绵蚜已给我国苹果产业造成严重的威胁, 因此, 有必要对

苹果绵蚜进行监控、控制其蔓延。

苹果绵蚜在我国各地区年发生世代数存在差异。例如, 在辽宁地区, 苹果绵蚜一年发生 11~13 代, 山东青岛年发生 17~18 代, 河北唐山发生 12~14 代, 云南昆明发生 23~26 代, 西藏发生 7~23 代 (张广学和钟铁森, 1983; 贺春玲, 2004; 曹秋华等, 2005)。通常, 在 3 月下旬, 苹果绵蚜若虫开始活动。随着气温的升高, 苹果绵蚜开始迁移并扩散, 主要集中在树干的伤疤、剪口以及新梢的叶腋处为害。5 月下旬产生的有翅蚜开始迁飞。通常, 苹果绵蚜 1 年有两个发生高峰期, 约在 6 月中旬和 9 月下旬。11 月下旬, 苹果绵蚜逐渐进入越冬阶段。通常, 以低龄若蚜形式越冬 (侯启昌和陈汉杰, 2008)。

近年来, 生态位模型 (ecological niche modeling, ENM) 被认为是预测物种潜在地理分布的有力工具, 同时也广泛应用在生态学、生物地理学、进化和保护生物学等领域 (Ganeshaiah *et al.*, 2003; Levine *et al.*, 2004; Guisan and Thuiller, 2005; Peterson *et al.*, 2007)。GARP (the genetic algorithm for rule-set production) 模型是目前在预测物种潜在地理分布研究中应用最为广泛的生态位模型, 该模型仅利用分布数据和环境变量来预测物种潜在分布区 (薛大勇等, 2005; 周国梁等, 2007; 李红梅等, 2005a; 2005b, Stockman *et al.*, 2006a; 汪兴鉴等, 2006; Wang *et al.*, 2010)。MAXENT (maximum entropy) 模型则是目前预测物种潜在分布的最新的生态位模型, 该模型是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)。例如, 该模型的预测结果可减少假阳性错误 (commission error or over-prediction) (Pearson *et al.*, 2007), 特别适于已知分布数据较少情况下的物种潜在分布区预测 (Elith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2008)。此外, 一些学者对不同模型预测结果也进行了评估与比较, 结果表明, MAXENT 和 GARP 模型预测结果较其它方法更精确 (Hernandez *et al.*, 2006)。

本研究利用 GARP 和 MAXENT 两种生态位模型研究苹果绵蚜在我国的潜在地理分布区, 对明确其在我国的监测范围, 正确评估该种蚜虫在我国苹果主产区的入侵风险, 以及为对其制定合理的防治策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 基础数据的收集与处理

苹果绵蚜的地理分布信息主要来自于相关文献。该种蚜虫的主要寄主植物——苹果 (*M. pumila*) 的地理分布区(自然分布区及主要栽培区)数据主要来自苹果绵蚜的相关文献和中国数字植物标本馆(Chinese Virtual Herbarium) (<http://www.cvh.org.cn/zhizhi/list.asp>)。文献资料中的分布数据在地名数据库(Geographic Names Database, GNDB)中查找相应的经纬度,经核对后按 GARP 和 MAXENT 输入文件格式录入到相应的 Excel 表中。

目前,苹果绵蚜相继在我国 14 个省(市、自治区),107 个县(市)被发现,即山西(23 个)、山东(22 个)、河南(11 个)、河北(10 个)、云南(10

个)、辽宁(7 个)、陕西(7 个)、西藏(5 个)、江苏(4 个)、新疆(3 个)、安徽(2 个)、贵州(1 个)、甘肃(1 个)和天津(1 个)。最南分布点位于云南省易门市(24.67°N , 102.15°E),最北分布点位于新疆省伊宁市霍城县(44.07°N , 80.87°E) (图 1, 表 1)。

苹果产区在我国分布很广,遍及中国大部分地区(除江西、湖南、广东、海南和台湾省)。主要集中在环渤海(鲁、冀、辽、京、津)、西北黄土高原(陕、晋、甘、青、宁)、黄河故道(豫、苏、皖)和西南冷凉高地(云、贵、川)等 4 大产区。在 260 个分布点中,即山东(40 个)、河北(35 个)、山西(31 个)、陕西(27 个)、辽宁(22 个)、甘肃(19 个)、河南(18 个)、云南(13 个)、新疆(9 个)、四川(5 个)、西藏和黑龙江(各 7 个)、江苏(4 个)、安徽和湖北(各 3 个)、贵州、江苏、浙江、福建、贵州和广西(各 2

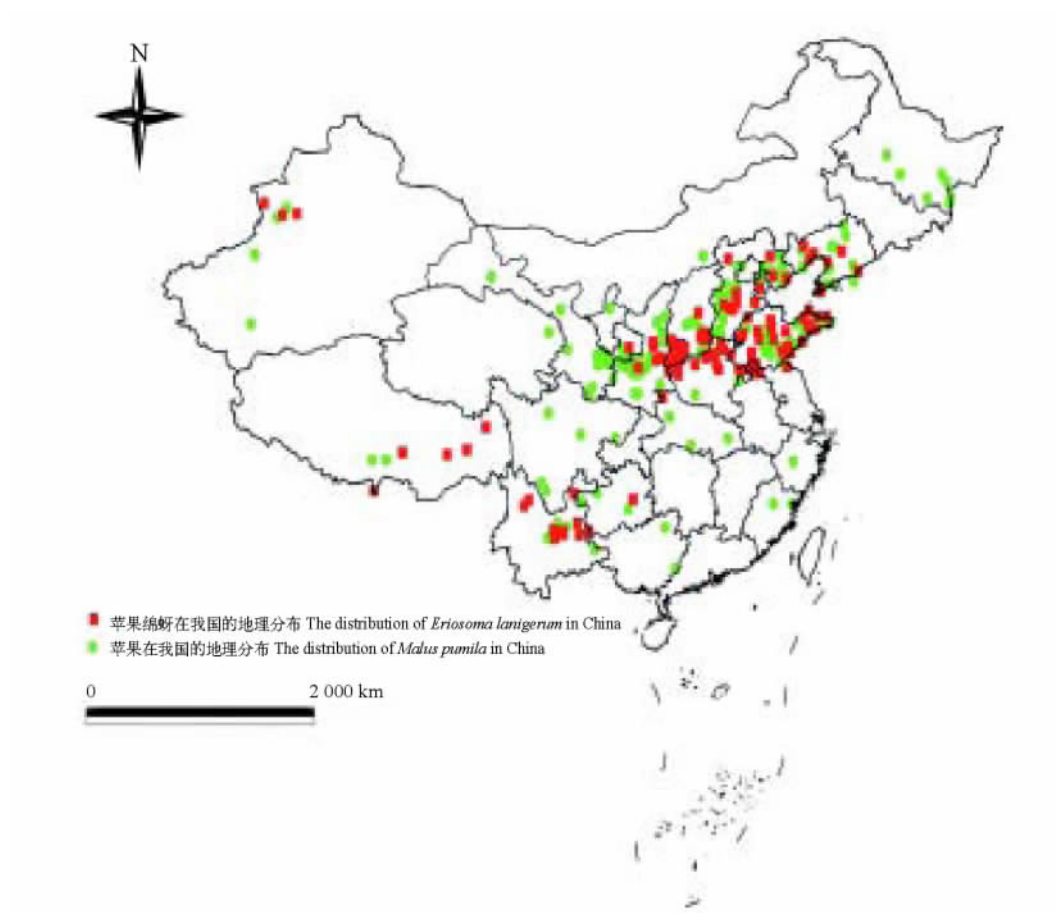


图 1 苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* (红色方框, 107 个记录点) 与苹果 *Malus pumila* (绿色圆点状, 260 个记录点) 在我国的地理分布

Fig. 1 The distribution of *Eriosoma lanigerum* (red panes, 107 records) and *Malus pumila* (green dots, 260 records)