

网络出版时间:2015-10-13 08:46
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151013.0846.028.html>

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.11.014

基于 Maxent 模型的葡萄根瘤蚜在中国的适生性分析

赵晶晶,高 丹,冯纪年

(西北农林科技大学 农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室,
植保资源与病虫害治理教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】预测葡萄根瘤蚜在我国的潜在分布范围,为进一步防止其扩散蔓延提供科学依据。【方法】采用 Maxent 生态位模型和地理信息系统(ArcGIS)并结合影响葡萄根瘤蚜生长发育的环境因子,对葡萄根瘤蚜在我国的潜在适生范围进行了预测。【结果】葡萄根瘤蚜在我国的高适生区主要集中在辽宁大部、河北东南部、山东、河南东部、江苏、浙江北部、江西局部、安徽大部、湖北中部、湖南中部、陕西关中及陕南、重庆、四川东部、贵州北部;通过 ROC 曲线验证,该模型的训练集和测试集的 AUC 值分别为 0.982 和 0.962(非常接近 1),表明预测获得了较好的结果;年平均气温、最热月份最高温度、最冷月份最低温度、最暖季度平均温度、最冷季度平均温度、年降雨量、最湿月份降雨量、最湿季度降雨量和最冷季度降雨量对葡萄根瘤蚜的潜在分布影响较大。【结论】葡萄根瘤蚜在我国适生范围广泛,加强未被葡萄根瘤蚜侵染地区的监测管理意义重大。

【关键词】 葡萄根瘤蚜;Maxent 模型;地理信息系统;适生区

【中图分类号】 S436.631.2⁺1 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2015)11-0099-06

Potential geographic distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch in China based on Maxent model

ZHAO Jing-jing,GAO Dan,FENG Ji-nian

(Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Loess Plateau,Ministry of Agriculture ,
Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of Ministry of Education ,
Northwest A&F University,Yangling ,Shaanxi 712100,China)

Abstract: 【Objective】 Grape phylloxera, *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch is one of the most serious quarantine insect pests in the world,and it seriously threatens the species of grape. The potential geographical distribution of grape phylloxera was predicted to provide scientific basis for preventing its further spread. 【Method】 Maxent model,geographic information system (ArcGIS) and the environmental factors affecting the growth and development of grape phylloxera were used to predict the potential distribution of grape phylloxera in China. 【Result】 The most suitable areas for grape phylloxera in China mainly included most of Liaoning,southeast of Hebei,Shandong,east of Henan,much of Jiangsu,north of Zhejiang,few areas of Jiangxi,much of Anhui,middle of Hubei and Hunan,middle and south of Shaanxi,much of Chongqing,east of Sichuan,and north of Guizhou. The ROC curve analysis was used in assessing the accuracy of Maxent model,and AUC values of the training data and the test data were 0.982 and 0.962 (nearly close to 1),indicating the prediction was satisfactory. The potential distribution areas of grape phylloxera were greatly influenced by temperature and precipitation factors including annual mean temperature,max temperature of

【收稿日期】 2014-04-03

【基金项目】 陕西省科技厅“果树重大疫情鉴定与防治”项目(K332021230)

【作者简介】 赵晶晶(1987—),女,山西大同人,在读硕士,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。

【通信作者】 冯纪年(1957—),男,陕西白水人,教授,博士生导师,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。

warmest month, min temperature of coldest month, mean temperature of warmest quarter, mean temperature of coldest quarter, annual precipitation, precipitation of wettest month, precipitation of wettest quarter, and precipitation of coldest quarter. 【Conclusion】 Due to the wide suitability of *Daktulosphaira vitifoliae* in China, it is of great significance to enhance the management and monitoring of non-infected regions for grape phylloxera.

Key words: *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch; Maxent model; ArcGIS; potential geographical distribution

葡萄根瘤蚜(*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch)属于同翅目,胸喙亚目,球蚜总科,根瘤蚜科,只危害葡萄属植物,且有毁灭性危害,是我国植物检疫性有害生物。该虫原产于北美洲落基山脉东部,目前在加拿大、墨西哥、阿根廷、巴西、智利、秘鲁、法国、哥伦比亚、奥地利、阿尔巴尼亚、比利时、阿尔及利亚、南非、保加利亚、匈牙利、突尼斯、黎巴嫩、摩洛哥、巴基斯坦、塞浦路斯、叙利亚、以色列、土耳其、中国、朝鲜及日本等国均有分布^[1]。我国葡萄根瘤蚜多为不完全生活史,其主要传播途径为从疫区调运苗木、种条等,除这些苗木、种条可能携带根瘤蚜外,疫区土壤也可能携带根瘤蚜,同时若虫的爬行、灌溉水及耕作工具等也可导致根瘤蚜的扩散传播;葡萄根瘤蚜越冬若蚜及卵耐低温,翌年春天开始活动的时间因土壤深度和温度而不同^[1]。我国最早出现此害虫危害是在 1935 年山东烟台,但直到 1954 年才引起政府重视,后经过综合治理,这一害虫在我国已基本绝迹^[2],但 2005 年 6 月在上海马陆镇又发现葡萄根瘤蚜危害,此后在湖南省怀化地区、陕西省西安灞桥、辽宁省葫芦岛等地陆续发现^[3-4]。目前,葡萄根瘤蚜在我国南北方均有出现,寄主葡萄是我国重要的果树树种,也是重要的经济作物,其扩散蔓延将对我国葡萄产业构成巨大威胁。由于葡萄根瘤蚜目前在我国的侵染面积较小并得到有效控制,还未对我国的葡萄造成重大经济损失^[1],因此研究葡萄根瘤蚜在我国的潜在适生区具有重要意义。

Maxent(maximum entropy)是一个以最大熵理论为基础的物种分布预测模型^[5]。该模型根据物种的已知分布点数据和环境变量因子,利用数学模型归纳或模拟其生态位需求,预测某物种在特定范围的适生分布。预测结果的优劣经 AUC(area under curve)值进行判断,AUC 值越大,表明预测结果越好^[6]。

目前,我国已有一些关于葡萄根瘤蚜风险性分析和适生性方面的研究,董丹丹等^[7]根据国际植物检疫措施标准规定的有害生物风险分析程序对葡萄

根瘤蚜在我国的风险性进行了分析,结果显示葡萄根瘤蚜在我国属于高危险性有害生物;岳朝阳等^[8]通过综合分析法对葡萄根瘤蚜在新疆的风险性进行了评估,结果表明葡萄根瘤蚜是新疆重要的危险性有害生物;万方浩等^[9]预测了葡萄根瘤蚜在我国的适生范围,但其所应用的环境变量较少,没有进一步分析土壤因素及环境变量的重要性,精度检验也只侧重于文字描述,而无具体的直观图示。本研究采用 Maxent 生态位模型与地理信息系统(ArcGIS),结合影响葡萄根瘤蚜生长的环境变量因子进行综合分析,预测了葡萄根瘤蚜在我国的潜在适生区域,旨在为防止葡萄根瘤蚜在我国的进一步扩散和蔓延提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 葡萄根瘤蚜分布数据

葡萄根瘤蚜的分布数据通过大量查阅国内外的相关文献资料获得^[1,10-14],最终确定了 312 个葡萄根瘤蚜分布点数据(如图 1),其中 18 个中国的分布点,通过 Google earth 确定每个分布点的经纬度。按照 Maxent 模型的要求在 excel 中将葡萄根瘤蚜分布点坐标按“物种名、经度、纬度”顺序保存为 csv 格式。

1.2 环境数据

本研究采用影响葡萄根瘤蚜生长发育的 20 个气候及地形变量(如表 1),为 1950—2000 年 50 年间的平均值,均来源于 Worldclim(<http://www.worldclim.org>)网站,各变量的空间分辨率为 10arc-min,下载的栅格数据可以直接加载到 Maxent 中使用。

1.3 预测模型及软件来源

Maxent 模型:所使用的 Maxent 模型为 3.3.3k 版。

ArcGIS 软件:由西北农林科技大学植物保护学院昆虫博物馆提供,版本为 ArcGIS 9.3。

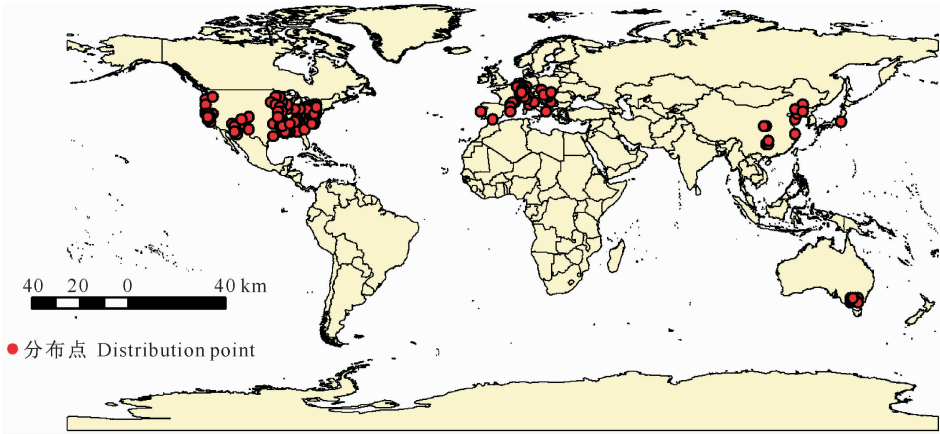


图 1 葡萄根瘤蚜在世界的分布点

Fig. 1 Distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* in the world

表 1 Maxent 模型中使用的环境变量

Table 1 Environment variables used in Maxent model

变量 Variable	描述 Description
bio1	年平均气温 Annual mean temperature
bio2	昼夜温差月平均值 Mean diurnal range (Mean of monthly (max temp—min temp))
bio3	昼夜温差与年温差比值 Isothermality (bio2/bio7) (×100)
bio4	温度季度变化方差 Temperature seasonality (standard deviation ×100)
bio5	最热月份最高温度 Max temperature of warmest month
bio6	最冷月份最低温度 Min temperature of coldest month
bio7	年温差 Temperature annual range (bio5—bio6)
bio8	最湿季度平均温度 Mean temperature of wettest quarter
bio9	最干季度平均温度 Mean temperature of driest quarter
bio10	最暖季度平均温度 Mean temperature of warmest quarter
bio11	最冷季度平均温度 Mean temperature of coldest quarter
bio12	年降雨量 Annual precipitation
bio13	最湿月份降雨量 Precipitation of wettest month
bio14	最干月份降雨量 Precipitation of driest month
bio15	降雨量季度变化方差 Precipitation seasonality (Coefficient of variation)
bio16	最湿季度降雨量 Precipitation of wettest quarter
bio17	最干季度降雨量 Precipitation of driest quarter
bio18	最暖季度降雨量 Precipitation of warmest quarter
bio19	最冷季度降雨量 Precipitation of coldest quarter
alt	海拔 Altitude

1.4 基础地理数据

由国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsd.gov.cn/>)下载的 1 : 400 万中国矢量地图作为分析底图。

1.5 分析方法

Maxent 模型的运行及结果处理: 随机选取 25% 的葡萄根瘤蚜分布点作为测试集(test data), 剩余 75% 为训练集(training data), 其余参数设置为软件默认值。运行出的结果包括模型的验证、适生指数图, 刀切法(jackknife)测定各变量权重。利用 ArcGIS 中 ArcToolbox 窗口下的转换工具(conversion tools)将 Maxent 运行出的. asc 格式转化为

Raster 格式, 即可在 ArcGIS 中显示结果图, 通过 ArcGIS 中分析工具的再分类对其进行合适的适生等级划分, 最终获得葡萄根瘤蚜在我国的适生等级分布图。

模型精度评估: Maxent 模型采用 ROC(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线分析法对适生性分析结果进行精度评估^[15]。ROC 曲线以假阳性率为横坐标, 真阳性率为纵坐标, 曲线与横坐标所围成的面积值为 AUC(area under curve, AUC), AUC 值越接近 1 表示模型预测结果精度越高^[16-18]。

测定环境变量重要性: 利用刀切法(jackknife)判断各生态变量对葡萄根瘤蚜分布的重要性。此方

法通过单独使用某一变量建模(空白条带),测定其重要性(值越大,说明这一变量越重要),再使用排除这一环境变量建模(灰色条带),最后生成一个使用全部生态变量建立的模型(黑色条带)^[19]。

2 结果与分析

2.1 葡萄根瘤蚜的潜在地理分布区预测

将 Maxent 模型预测的葡萄根瘤蚜适生性结果(图 2)导入 ArcGIS 分析,适生等级划分参考 Maxent 模型预测的结果等级,平均划分为 4 类,分级标准如下:适生值为 0 即非适生区;0<适生值≤0.3 即低适生区;0.3<适生值≤0.7 即适生区;0.7<适生值≤1.0 即高适生区,结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,葡萄根瘤蚜在我国的适生范围广泛,主要

集中在华中、华东和东北部分地区,基本趋势呈现出以高适生区为中心向四周扩散,同时适生性逐步降低的特点。其中高适生区有辽宁大部、河北东南部、山东、河南东部、江苏、浙江北部、江西局部、安徽大部、湖北中部、湖南中部、陕西关中及陕南、重庆、四川东部、贵州北部;适生区有吉林少部、山西南部、河南西部、湖北大部、湖南大部、江西大部、浙江大部;低适生区有黑龙江南部、吉林、辽宁东部、河北北部、山西中部及北部、陕西北部、宁夏南部、甘肃中部、四川大部、西藏东部、云南大部、贵州南部、广西北部、广东北部、福建;非适生区有黑龙江北部、内蒙古大部、甘肃北部、宁夏大部、青海、西藏大部、新疆、海南和台湾地区。

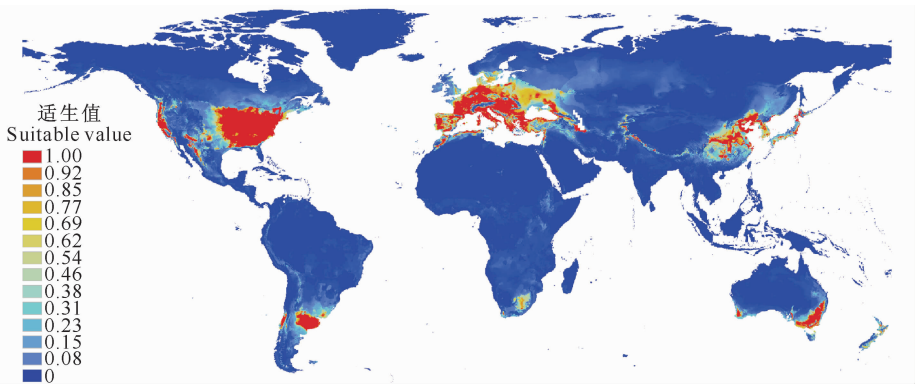


图 2 Maxent 模型预测的葡萄根瘤蚜在世界的潜在分布区
Fig. 2 Potential distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* in the world predicted by Maxent model

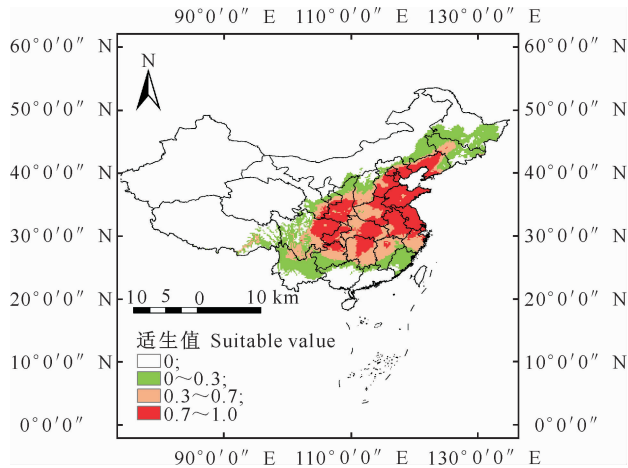


图 3 Maxent 模型预测的葡萄根瘤蚜在
中国的潜在分布区
Fig. 3 Potential distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* in
China predicted by Maxent model

2.2 Maxent 模型精度评估

本研究采用 ROC 曲线分析法对 Maxent 模型

预测的葡萄根瘤蚜适生性分布结果进行精度检验,预测结果(图 4)显示:Maxent 模型的训练集和测试集的 AUC 值分别为 0.982 和 0.962,非常接近 1,表明预测获得了较好的结果。

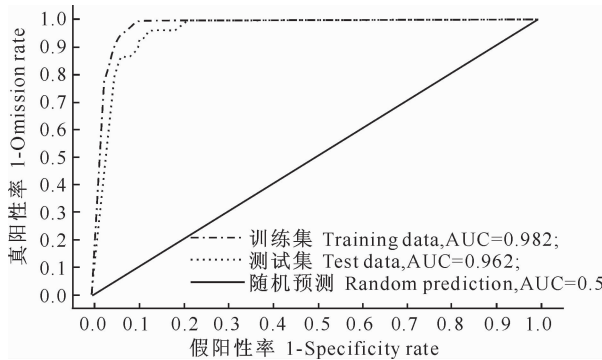


图 4 Maxent 模型的 ROC 曲线
Fig. 4 ROC curve of Maxent model

2.3 生态变量的重要性判断

运行结果通过 Maxent 模型刀切法判断,结果如图 5 所示。由图 5 可以看出,bio1(年平均气温)、

bio5(最热月份最高温度)、bio6(最冷月份最低温度)、bio10(最暖季度平均温度)、bio11(最冷季度平均温度)、bio12(年降雨量)、bio13(最湿月份降雨量)和 bio16(最湿季度降雨量)、bio19(最冷季度降雨量)对葡萄根瘤蚜的潜在分布影响较大,而海拔对葡萄根瘤蚜适生性的影响较小。

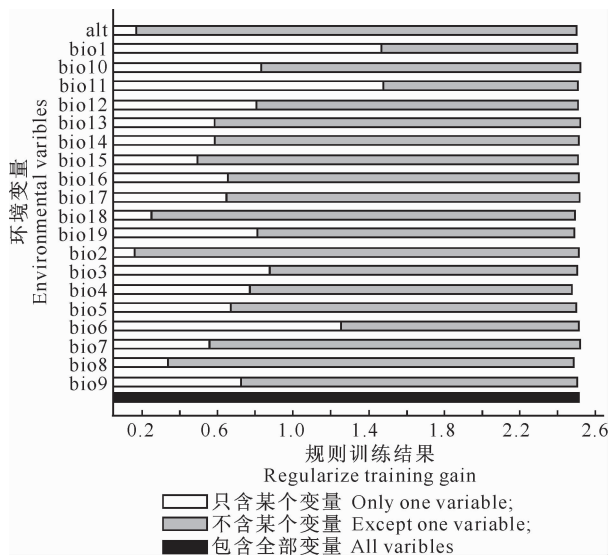


图 5 Maxent 模型刀切法测定环境变量的重要性
Fig. 5 Importance of variables measured by jackknife

3 讨论

3.1 模型的选择

物种适生区预测模型的精度由多种因素决定:主要包括物种分布点的选取、物种样本的大小、环境变量、空间分辨率和模型本身^[20]。目前,我国关于葡萄根瘤蚜公开发表的分布数据有限,可能对预测结果精度有一定的影响。大量研究结果表明,Maxent 生态位模型在物种分布数据不足的情况下仍能得到较为满意的结果^[21-23];Maxent 的预测结果要优于同类的 GARP、Domain、Bioclim 等模型^[15,22-23];王运生等^[19]运用 ROC 曲线分析法对 5 种模型(GARP、Domain、Bioclim、Climex、Maxent)的预测结果进行了比较,5 种模型的 AUC 值分别为 0.810, 0.758, 0.921, 0.903 和 0.950,其中以 Maxent 模型的 AUC 值最大,表明其预测效果相对较好;Maxent 模型虽然推出的时间不长,但近年来已被应用于锈色棕榈象^[16]、苹果棉蚜^[17]、稻水象甲^[18]、木薯单爪螨^[24]等外来入侵害虫潜在分布区的预测,预测结果均能较好地吻合物种的实际分布。因此,本研究选择 Maxent 生态位模型和地理信息系统相结合的方法,预测葡萄根瘤蚜在我国的潜在适生性范围,预测

结果经 ROC 曲线分析法验证,Maxent 模型的训练集和测试集的 AUC 值分别为 0.982 和 0.962,均非常接近 1,说明模型的预测结果与实际有较好的拟合度。

3.2 寄主的影响

影响生物适生性分布的因素除气候因子外,还有非气候因子,如寄主、天敌等。本研究所采用的 Maxent 模型在运行时没有考虑寄主的影响,是因为葡萄根瘤蚜只危害葡萄属植物,而目前,葡萄在我国的种植面积广泛,包括台湾在内的全国所有省都有葡萄栽培^[1],因此寄主不是限制葡萄根瘤蚜分布的因素。

3.3 预测结果的分析

本研究发现,温度和降雨量是影响葡萄根瘤蚜适生区域分布的 2 个主要因素。我国引种的葡萄品种主要为欧洲种葡萄,葡萄根瘤蚜在欧洲种葡萄上生长发育的最适温度为 21~28℃,当温度过高、过低时,若虫的存活率都大幅度下降;当温度达到 32℃时,葡萄根瘤蚜则会全部死亡^[10];降雨量的增多会使土壤含水量相应增加,而土壤含水量增加能减少葡萄根瘤蚜种群数量和危害^[1]。本研究预测出的葡萄根瘤蚜非适生区和低适生区与温度、降雨量关系密切。例如,黑龙江和内蒙古最北部主要由于冬季温度太低;华南地区则是由于夏季温度太高且降雨量较大;新疆北部冬季温度普遍较低;西藏昼夜温差较大。在一些地区,除受温度、降雨量的影响外,土质也是影响葡萄根瘤蚜适生性的重要原因,如新疆南部、甘肃、青海的柴达木盆地、内蒙古大部分地区、藏北高原的西北部、昆仑山脉和帕米尔高原等地的适生值均较低,这些地区的土质大多属于沙土或高山漠土^[25],沙土质地松散、缝隙小,高山漠土土层薄、石砾多,均不利于葡萄根瘤蚜的扩散。除此之外的其他地区,温度、降雨量及土质等条件均符合葡萄根瘤蚜生长发育及繁殖的要求,因而具有较高的适生性。

3.4 防控措施建议

目前,我国已形成很多各具特色的葡萄及葡萄酒产区,如果这些产区一旦被葡萄根瘤蚜感染后果将不堪设想,因此加强各葡萄种植产地的防控检疫尤为重要。(1)严格检疫。对于已发生疫情的地区尽量避免苗木的流通,未发生的地区如有疫区的水果或相关产品输入则要加强检疫,一旦发现疫情立即采取有效措施处理。(2)苗木、种条调运前和栽种前都要进行消毒处理,如使用溴甲烷熏蒸处理、温水

处理、辛硫磷处理等。(3)加强监测和宣传。对于非疫区要加强监测,及时上报监测情况,同时要加强对葡萄根瘤蚜的检疫方法,将疫情的传播扩散可能降到最低。通过本研究对葡萄根瘤蚜在我国的潜在适生区有了一个比较明确直观的了解,为进一步防止葡萄根瘤蚜的扩散提供了科学依据。与此同时,对于预测到的潜在适生区应该引起当地主管部门的高度重视,采取适当的检验检疫措施以防止葡萄根瘤蚜的入侵。

[参考文献]

[1] 王忠跃. 葡萄根瘤蚜 [M]. 北京:中国农业出版社,2010.
Wang Z Y, *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch [M]. Beijing: China Agriculture Press,2010. (in Chinese)

[2] 李传隆. 烟台地区葡萄根瘤蚜(*Phylloxera vitifoliae* Fitch)观察 [J]. 昆虫学报,1957,7(4):489-495.
Li C L. Observations on the biology of the grape phylloxera in Chefoo [J]. Acta Entomologica Sinica,1957,7(4):489-495. (in Chinese)

[3] 叶 军,郑建中,唐国粮. 上海地区发现葡萄根瘤蚜危害 [J]. 植物检疫,2006,20(2):98.
Ye J,Zheng J Z,Tang G L. The grape phylloxera hazards found in Shanghai [J]. Plant Quarantine,2006,20(2):98. (in Chinese)

[4] 张尚武,刘 勇,朱 漩. 我省首次发现葡萄根瘤蚜 [N]. 湖南日报,2006-06-01.
Zhang S W,Liu Y,Zhu X. Our province found phylloxera for the first time [N]. Journal of Hunan,2006-06-01. (in Chinese)

[5] Phillips S J,Anderson R P,Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling,2006,190(3/4):231-259.

[6] 曹向峰,钱国良,胡白石,等. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区 [J]. 应用生态学报,2010,21(12):3063-3069.
Cao X F,Qian G L,Hu B S,et al. Prediction of potential suitable distribution area of *Flaveria bidentis* in China based on niche models [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(12):3063-3069. (in Chinese)

[7] 董丹丹,刘崇怀,樊秀彩,等. 葡萄根瘤蚜在中国的风险性分析 [J]. 植物检疫,2011,25(1):21-26.
Dong D D,Liu C H,Fan X C,et al. Risk analysis of grape phylloxera *Viteus vitifoliae* Fitch in China [J]. Plant Quarantine,2011,25(1):21-26. (in Chinese)

[8] 岳朝阳,王成祥,张新平,等. 葡萄根瘤蚜在新疆的风险分析 [J]. 江苏农业科学,2012,40(10):125-127.
Yue C Y,Wang C X,Zhang X P,et al. Risk analysis of grape phylloxera *Viteus vitifoliae* Fitch in Xinjiang [J]. Agriculture Science of Jiangsu,2012,40(10):125-127. (in Chinese)

[9] 万方浩,彭德良,王 瑞,等. 生物入侵:预警篇 [M]. 北京:科学出版社,2010:230-237.
Wan F H,Peng D L,Wang R,et al. Biological invasions:Risk

analysis and early prevention [M]. Beijing: Science Press,2010:230-237. (in Chinese)

[10] 吕 军,王忠跃,王振营,等. 葡萄根瘤蚜生物学特性及防治研究进展 [J]. 江西植保,2008,31(2):51-56.
Lü J,Wang Z Y,Wang Z Y,et al. Advances on biology and management of grape phylloxera [J]. Jiangxi Plant Protection,2008,31(2):51-56. (in Chinese)

[11] Downie D A,Granett J,Fisher J R. Distribution and abundance of leaf galling and foliar sexual morphs of grape phylloxera (Hemiptera:Phylloxeridae) and *Vitis* species in the central and eastern United States [J]. Environmental Entomology,2000,29(5):979-986.

[12] Downie D A, Fisher J R,Granett J. Grapes,galls,and geography:The distribution of nuclear and mitochondrial DNA variation across host-plant species and regions in a specialist herbivore [J]. Evolution,2001,55(7):1345-1362.

[13] Buchanan G A. The distribution of grape phylloxera,*Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch),in central and north-eastern Victoria [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture,1987,27(4):591-595.

[14] Forneck A,Walker M A,Blaich R. Genetic structure of an introduced pest, grape phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch),in Europe [J]. Genome,2000,43(4):669-678.

[15] Li B N,Wei W,Ma J,et al. Maximum entropy niche-based modeling(Maxent) of potential geographical distributions of fruit flies *Dacus bivittatus*,*D. ciliatus* and *D. vertebrates*(Diptera:Tephritidae) [J]. Acta Entomologica Sinica,2009,52(10):1122-1131.

[16] 冯益明,刘洪霞. 基于 Maxent 与 GIS 的锈色棕榈象在中国潜在的适生性分析 [J]. 华中农业大学学报,2010,29(5):552-556.
Feng Y M,Liu H X. Potential suitability analysis of *Rhy-chophorus ferrugineus* (Olivier) in China based on Maxent and GIS [J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2010,29(5):552-556. (in Chinese)

[17] 王兴亚,蒋春廷,许国庆. 外来入侵种——苹果棉蚜在中国的适生区预测 [J]. 应用昆虫学报,2011,48(2):379-391.
Wang X Y,Jiang C T,Xu G Q. Potential distribution of an invasive pest,*Eriosoma lanigerum* in China [J]. Chinese Journal of Applied Entomology,2011,48(2):379-391. (in Chinese)

[18] 齐国君,高 燕,黄德超,等. 基于 Maxent 的稻水象甲在中国入侵扩散动态及适生性分析 [J]. 植物保护学报,2012,39(2):129-136.
Qi G J,Gao Y,Huang D C,et al. Historical invasion,expansion process and the potential geographic distributions for the rice water weevil,*Lissorhoptrus oryzophilus* in China based on Maxent [J]. Acta Phytophylacica Sinica,2012,39(2):129-136. (in Chinese)

- in four Australian spittlebug species (Hemiptera:Cercopidae) with implications for phylogeny [J]. *Australian Journal of Entomology*, 2002, 41(1): 39-44.
- [25] Romani R, Rossi Stacconi M V, Riolo P, et al. The sensory structures of the antennal flagellum in *Hyalesthes obsoletus* (Hemiptera: Fulgoromorpha: Ciixidae): A functional reduction [J]. *Arthropod Structure & Development*, 2009, 38(6): 473-483.
- [26] Zacharuk R Y. Antennae and sensilla [M]//Kerkut G A, Gilbert L I. *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Vol 6. Oxford: Pergamon Press, 1985: 1-69.
- [27] Bruce T J, Cork A. Electrophysiological and behavioral responses of female *Helicoverpa armigera* to compounds identified in flowers of African marigold *Tagetes erecta* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(6): 1119-1131.
- [28] Park K C, Hardie J. Functional specialization and polyphenism in aphid olfactory sensilla [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2002, 48(5): 527-535.
- [29] Altner H, Schaller-Selzer L, Stetter H, et al. Poreless sensilla with inflexible sockets: A comparative study of a fundamental type of insect sensilla probably comprising thermo-and hygroreceptors [J]. *Cell and Tissue Research*, 1983, 234(2): 279-307.
- [30] Bleeker M A K, Smid H M, Aelst A C, et al. Antennal sensilla of two parasitoid wasps: A comparative scanning electron microscopy study [J]. *Microscope Research and Technique*, 2004, 63(5): 266-273.
- [31] McIver S B. Structure of cuticular mechanoreceptors of arthropods [J]. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20: 381-397.
- [32] 余海忠. 昆虫触角感受器研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(14): 4238-4240, 4243.
- Yu H Z. Research progress of insect antennal sensilla [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2007, 35(14): 4238-4240, 4243. (in Chinese)
- [33] Dunn J A. Antennal sensilla of vegetable aphids [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1978, 24(3): 148-149.
- [34] Lopes O, Barata E N, Mustaparta H. Fine structure of antennal sensilla basiconica and their detection of plant volatiles in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* Fabricius (Culeoptera: Cerambycidae) [J]. *Arthropod Structure and Development*, 2002, 31(1): 1-13.
- [35] Aljunid S F, Anderson M. Ultrastructure of sensilla on the antennal pedicel of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Insecta: Homoptera) [J]. *Cell and Tissue Research*, 1983, 228(2): 313-322.
-
- (上接第 104 页)
- [19] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用 [J]. *生物多样性*, 2007, 15(4): 365-372.
- Wang Y S, Xie B Y, Wan F H, et al. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models [J]. *Biodiversity Science*, 2007, 15(4): 365-372. (in Chinese)
- [20] 杨 瑞. 苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 在中国的适生性研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- Yang R. Study on habitat suitability of *Cydia pomonella* (L.) in China [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)
- [21] Elith J, Graham C H, Anderson R P, et al. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data [J]. *Ecography*, 2006, 29(2): 129-151.
- [22] Li B N, Ma J, Hu X N, et al. Potential geographical distributions of the fruit flies *Ceratitis capitata*, *Ceratitis cosyra*, and *Ceratitis rosa* in China [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2009, 102(5): 1781-1790.
- [23] Fiaboe K K M, Peterson A T, Kairo M T K, et al. Predicting the potential worldwide distribution of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) using ecological niche modeling [J]. *Florida Entomologist*, 2012, 95(3): 659-673.
- [24] 卢 辉, 陈 青, 卢芙萍, 等. 木薯单爪螨全球潜在地理分布的 Maxent 预测 [J]. *植物检疫*, 2012, 26(1): 1-6.
- Lu H, Chen Q, Lu F P, et al. Prediction of worldwide potential geographic distribution of *Mononychellus tanajoa* with Maxent [J]. *Plant Quarantine*, 2012, 26(1): 1-6. (in Chinese)
- [25] 张时煌, 彭公炳, 黄 玫. 基于地理信息系统技术的土壤质地分类特征提取与数据融合 [J]. *气候与环境研究*, 2004, 9(1): 65-79.
- Zhang S H, Peng G B, Huang M. The feature extraction and data fusion of regional soil textures based on GIS techniques [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9(1): 65-79. (in Chinese)