

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2017.02.004

入侵害虫蔗扁蛾在我国的潜在分布区

王梦琳, 范靖宇, 李 敏, 朱耿平*

天津师范大学生命科学学院, 天津市动植物抗性重点实验室, 天津 300387

摘要:【目的】蔗扁蛾是危害巴西木、甘蔗等园林植物和经济作物的重要入侵害虫。该虫于 20 世纪 90 年代初在我国被发现, 现已分布在海南、广东和上海等 19 个省市, 并有迅速扩散蔓延的趋势。对入侵害虫的潜在分布区进行预测, 可为实施害虫监测和管理提供参考。【方法】根据蔗扁蛾已有分布点的记录, 分别在 4 种地理区域构建 Maxent 生态位模型, 并采用加权平均值法对其进行整合, 进而分析蔗扁蛾在我国的潜在分布区。【结果】基于 4 种地理区域构建的 Maxent 模型对我国南部地区的预测结果基本一致, 4 种模型的预测差异主要在新疆北部和西南部、黑龙江东部和西部、吉林西部、山西中部等地区。整合模型显示, 华东和华南地区以及东部沿海地区具有较大的分布可能性。【结论】蔗扁蛾在我国尤其是南方具有较大的潜在分布空间。这些地区应警惕蔗扁蛾的入侵, 同时采取应对措施防止其进一步扩散。

关键词: 蔗扁蛾; 入侵物种; 生态位模型; 加权平均值法; 潜在分布

Potential geographical distribution of the introduced banana moth, *Opogona sacchari* (Lepidoptera: Tineidae) in China

WANG Menglin, FAN Jingyu, LI Min, ZHU Gengping*

Key Laboratory of Animal and Plant Resistance in Tianjin, College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China

Abstract: 【Aim】*Opogona sacchari* is an important invasive pest, harmful to brazilwood, sugarcane and numerous other ornamental plants and economic crops. Since the beginning of 1990s, this pest has established populations in Hainan, Guangdong, Shanghai and other provinces in China, and it might have the potential to further expand its distribution. The prediction of potential distribution of invasive species could provide valuable information for their subsequent monitoring and management. 【Method】Based on the available occurrence records of *O. sacchari*, we calibrated four Maxent niche models on different geographical areas. To predict its potential distribution, we also used the weighted average method to integrate the four individual niche models into a consensus model. 【Result】The predictions based on the four individual models were consistent for southern China, whereas inconsistent in northern and southwestern Xinjiang, eastern and western Heilongjiang, western Jilin, and central Shanxi. Result of the consensus model showed that eastern and southern China, and eastern coastal areas had high suitability for *O. sacchari*. 【Conclusion】There are extensive suitable distributional areas for *O. sacchari* in China. Attention should be given to the invasion, and special efforts need be taken to prevent its further spread.

Key words: *Opogona sacchari*; invasive species; niche model; weighted average method; potential distribution

蔗扁蛾 *Opogona sacchari* (Bojer), 中文别名香蕉蛾、香蕉谷蛾, 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 辉蛾科 Hieroxestidae 扁蛾属 *Opogona*。它是我国近年来新发现的一种入侵害虫, 其主要以幼虫蛀食寄主植物的皮层、茎秆, 咬食新根, 使植物逐渐衰弱、枯萎, 乃至死亡。该虫原产于非洲热带和亚热带地区, 现已扩散到欧洲、南北美洲的 25 个国家和地区, 严重危害当地的香蕉、甘蔗等农作物和园林植物(鞠瑞亭等, 2003)。蔗扁蛾于 1995 年在我国北京东城区的巴西木上被发现, 现已分布于海南、广东、福建和上海等 15 个省市(殷玉生等, 2006), 并有向全国扩散蔓延的趋势。在我国, 蔗扁蛾主要危害以巴西木、

收稿日期(Received): 2016-12-05 接受日期(Accepted): 2017-02-10
基金项目: 国家自然科学基金(31401962); 天津师范大学人才引进基金项目(5RL127); 天津市“131”创新人才培养工程项目(ZX0471601006); 天津市用三年时间引进千名以上高层次人才项目(5KQM110030)
作者简介: 王梦琳, 男, 硕士研究生。研究方向: 入侵生物学与保护生物学
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: gengpingzhu@hotmail.com

发财树以及棕榈科植物为主的观赏植物。在江苏,凡有巴西木、发财树等寄主植物的地区,均发现蔗扁蛾不同程度的危害,且寄主范围逐年扩大(杜予州等,2003);在北京,受害严重的温室中巴西木每年的淘汰率达 50% 以上(程桂芳和杨集昆,1997);在广东、海南,一些巴西木、发财树的繁殖基地,每年的损失更大(张古忍等,1998)。该物种于 2003 年被中华人民共和国国家环保总局列为我国首批公布的 16 种高危险性入侵生物之一(鞠瑞亭等,2004)。

预测入侵害虫的潜在分布区是实施害虫监测和控制其扩散蔓延的重要前提和基础。近年来,生态位模型被越来越多地运用在入侵物种的潜在分布分析中(朱耿平等,2013)。其中,Maxent 等相关性生态位模型更具优越性(Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006)。目前,我国尚未见基于相关性方案的生态位模型对蔗扁蛾潜在分布的系统性研究。因此,本研究基于已有文献资料归纳总结蔗扁蛾当前的分布格局,然后利用相关性生态位模型对蔗扁蛾在我国的潜在分布区进行模拟分析;并通过在不同的地理区域构建模型,分析模型构建区域对模型预测的影响,以期对蔗扁蛾的风险分析和预防治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 物种分布点

构建生态位模型使用的物种分布点主要来源于数据库和文献记载。根据近 10 年的蔗扁蛾相关文献提取其分布数据,同时使用全球生物多样性信息网络(Global Biodiversity Information Facility, GBIF; www.gbif.org) 中的数据,共收集蔗扁蛾在全球的分布记录 235 个,然后在 Google Map (www.earthol.com) 中将物种分布数据转换成十进制的地理坐标形式,其中,小数点的尾数和环境变量的分辨率要相对应。这些物种分布数据存在一些弊端,如分类学中不正确的鉴定、地理坐标缺失以及采样偏差等(Anderson, 2012)。采样偏差会造成生态位模型对物种需求的过度拟合,从而降低生态位模型的转移能力,通常需要去除一部分空间关联性较大的物种分布点(Verbruggen *et al.*, 2013; Zhu *et al.*, 2012)和调节模型的软件参数(Anderson & Gonzalez, 2011)。本研究通过去除采样偏差后保留 164 个物种分布点。

1.2 环境变量

环境变量的选择主要考虑对蔗扁蛾地理分布起限制作用的因子以及变量间的相关性。在较大空间尺度,气候对蔗扁蛾分布的影响占主导作用;小尺度条件下,地理环境(地势、植被类型、土壤利用类型)及物种间相互作用等因素对其影响较大(Hortal *et al.*, 2010; Pearson & Dawson, 2003)。本研究以相对较大尺度探讨蔗扁蛾在世界范围内的潜在分布区,主要选择 Worldclimate 数据中心(www.worldclim.org)中的 bioclimate 气候因子构建模型。具体做法:先在 Maxent 模型中运用刀切方法(jackknife test)测试各气候因子对蔗扁蛾地理分布的限制作用,然后依据刀切测试环境因子重要性和各环境因子之间的相关性(Pearson < 0.9),通过 SDMTtoolbox (Brown, 2014)去除重要性较低和相关性高的环境变量,最终从 19 个常见气候变量中选取 5 个环境变量,即年平均温度(bio1)、平均日温差(bio2)、最热月份最高气温(bio5)、年降雨量(bio12)、最干月份降水量(bio14),所用环境变量的分辨率为 2.5 min。

1.3 模型构建

随机选取 70% 物种分布点用于模型构建,剩余的 30% 分布数据用于模型检验,所有 164 个物种分布点构建模型后用于结果展示。利用 Maxent 模型(Maxent, version 3.3.3k)的默认参数、系统收敛阈限 10^{-5} 和最大迭代次数 500,在 4 种地理区域构建模型,输出模式采用指数(logistic)的形式。Maxent 模型采用物种存在的分布点和地理背景数据进行运算,它通过在模型构建区域选取拟不存在物种分布点来构建模型,因此,模型构建区域对模型预测结果的影响较大(Zhu *et al.*, 2013)。在新版本的 Maxent 模型中,研究者可以通过 bias file 设置限制 Maxent 对物种拟不存在点的选取,这种设置不仅能够缓冲采样偏差对模型预测的影响,而且可以界定模型的构建区域。作者利用 SDMTtools 中模型构建背景选取功能(background selection via bias files),采用高斯核密度采样法(Gaussian kernel density of sampling location)、最小多边形缓冲法(sample by buffered local adaptive convex-hull)、物种分布点缓冲法(sample by buffered MCP)和局部自适应凸边形法(sample by distance from obs. pts.)等 4 种策略分别界定模型构建区域。

1.4 模型检验及整合

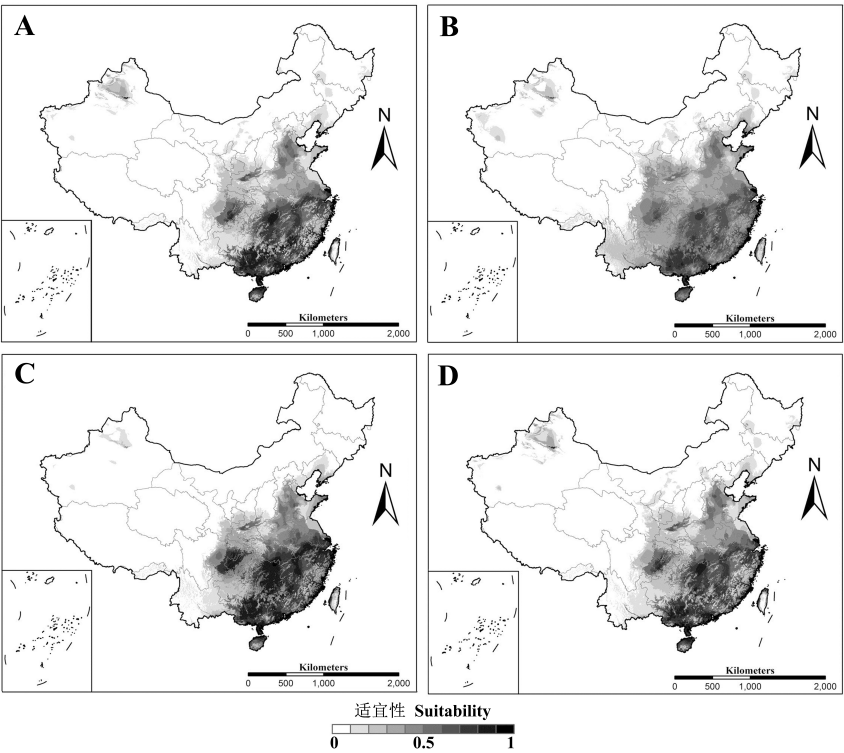
使用 30% 中的测试点对预测结果进行评估,模型评价采用 pROC 方案。pROC 方案将传统 ROC 曲线进行分割,采用错误率 0 至 E 之间的 ROC 曲线评估模型的预测能力。根据 95% 可靠的测试数据,基于错误数据占有测试数据的百分比 ($E = 0.05$) 计算 AUC 比率 (AUC ratio)。AUC 比率 = $AUC_E / AUC_{0.5}$ 。其中, AUC_E 为错误率 0- E 区间内曲线下面积的值, $AUC_{0.5}$ 为在错误率 0- E 区间内对角线 ($AUC = 0.5$) 下面积的值。AUC 比率 > 1, 表明模型优于随机模型, AUC 比率越大, 模型预测效果越好 (Peterson *et al.*, 2011)。在数据包 ENMGadgets (www.github.com/narayanibarve/ENMGadgets) 中对 AUC 比率进行 500 次重复运算。基于 AUC 比率对 4 个模型进行整合, 采用加权平均值 (weighted average) 法, 获得 4 个模型的整合模型。

2 结果与分析

随机选取 30% 数据对模型进行检验时, 基于最小多边形缓冲法、高斯核密度采样法、物种分布点缓冲法和局部自适应凸边形法所构建的模型 AUC 比率分别为 1.829 ± 0.039 、 1.846 ± 0.045 、 1.839 ± 0.041

和 1.843 ± 0.430 , 均大于 1, 表明模型预测优于随机预测, 其中, 基于高斯核密度采样法和局部自适应凸边形法所构建的模型相对较好。在 4 种地理区域构建的模型中, Maxent 运行结果显示, 最热月份最高气温 (bio5)、年平均气温 (bio1) 和平均日温差 (bio2) 对蔗扁蛾生态位模型的贡献较大, 温度对蔗扁蛾的地理分布影响较大。

基于 4 种地理区域构建的模型预测结果基本一致。其中, 华东地区、华南地区和华北地区均具有较强的适生性 (图 1)。华北地区包括河南南部、湖北、湖南等地区; 华东地区包括山东中南部、浙江北部、江苏南部、江西、安徽以及福建沿海等地区; 华南地区包括广东、广西和海南等地。此外, 云南、重庆西部、新疆、四川、甘肃东部、宁夏、辽宁、山西南部以及河北中南部等地区也有一定的分布可能性。模型预测的区别主要在新疆北部及西南部、黑龙江东部及西部、吉林西部、山西中部等地区。将上述 4 种预测进行整合后, Maxent 模型亦显示, 我国长江以南地区具有较强的适生性 (图 2)。这些潜在分布区贸易往来频繁, 受人类活动影响较大, 容易助长入侵物种的扩散。



A: 最小多边形缓冲法; B: 高斯核密度采样法; C: 物种分布点缓冲法; D: 局部自适应凸边形法。
A: Sample by buffered local adaptive convex-hull; B: Gaussian kernel density of sampling location;
C: Sample by buffered MCP; D: Sample by distance from observed points.

图 1 基于 4 种 Maxent 模型的蔗扁蛾在我国的潜在分布区
Fig.1 Potential distributions of *O. sacchari* based on Maxent model calibrated on 4 geographic backgrounds

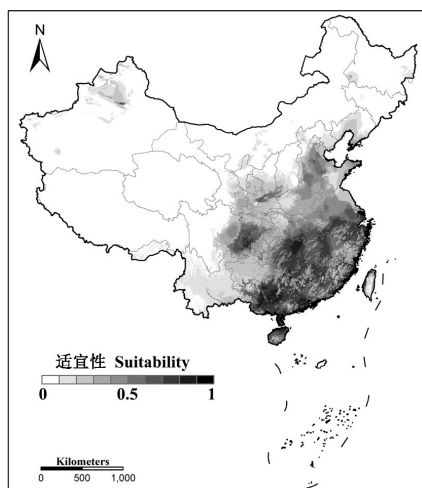


图 2 基于整合模型的蔗扁蛾在我国的潜在分布

Fig.2 Potential distribution of *O. sacchari* based on the consensus model

3 讨论

在景观尺度下,蔗扁蛾的分布更易受香蕉、甘蔗、巴西木、发财树等寄主植物分布的影响。生态位模型中显示的物种分布可能性,并不代表该物种的实际分布。本研究的预测结果显示,蔗扁蛾在我国的潜在分布地区主要有新疆北部、华东地区、华南地区、西南地区以及海南省等地。另外,本研究所采用的部分物种分布点可能存在错误,它们并不能代表蔗扁蛾的自然种群分布点,因此,预测结果具有一定的局限性。在模型评价中,作者通过设置 $E=5\%$ 时的 AUC 值检测模型,即容忍物种分布点存在 5% 的错误率。

鞠瑞亭等(2004)基于蔗扁蛾生理参数对其潜在分布进行了初步探讨,研究显示,最适宜地区集中在华南沿海地区,潜在分布区包括长江以南地区,这与本研究结果比较一致。与鞠瑞亭等(2004)的预测相比,基于 Maxent 的模型预测更为精细,这种差异由实验机理决定:鞠瑞亭等(2004)的模型采用的是有限的环境变量,这些环境变量并不能完全反映物种的基础生态位(朱耿平等,2013),同时基于气象站点数据对站点的潜在分布进行预测;而 Maxent 等相关性方案的生态位模型利用物种存在分布点和不存在分布点,采用统计理论或机械学习算法模拟物种和环境因子间的响应关系,且基于物种分布点和 GIS 图层对蔗扁蛾在潜在分布区的适生程度进行预测。

作者使用 30% 中的测试点对预测结果进行评估,模型评价采用 pROC 方案,与传统 AUC 值相比,具有优越性,特别是以潜在分布为目的的生态位模型评价(朱耿平和乔慧捷,2016)。

本研究基于最小多边形缓冲法、高斯核密度采样法、物种分布点缓冲法和局部自适应凸边形法等 4 种地理区域所构建的模型存在差别,通过加权平均值整合这些模型可以提高模型预测的准确性(Araújo & New,2006)。高斯核密度采样法通过创建一个高斯核密度样本地区,以限制拟不存在分布点的采样和降低样本偏差的影响;最小多边形缓冲法基于物种分布点的最小多边形(minimum convex polygon)进行缓冲来界定一个最小凸面多边形用于模型构建;物种分布点缓冲法通过对每个物种分布点进行一定距离的缓冲后叠加来界定背景数据的选择;局部自适应凸边形法介于最小多边形缓冲法和物种分布点缓冲法之间(Brown,2014)。其中,基于物种分布点缓冲法和局部自适应凸边形法的预测相对一致;基于最小多边形缓冲法和高斯核密度采样法所构建的模型差别较大,这是由于在模型构建背景中所选择的拟不存在分布点有差别。

综上所述,作者认为,基于 Maxent 模拟的潜在分布预测结果与蔗扁蛾在我国的地理分布相符,可为其风险分析提供参考。

参考文献

- 程桂芳, 杨集昆, 1997. 巴西木上的一种新害虫. 植物保护, 23(1): 33-35.
- 杜予州, 鞠瑞亭, 陆亚娟, 于淦军, 龚伟荣, 周福才, 2003. 江苏地区蔗扁蛾发生危害及防治. 江苏农业科学 (2): 38-40.
- 鞠瑞亭, 杜予州, 施宗伟, 陈克, 周福才, 2004. 入侵害虫蔗扁蛾在中国的风险性分析. 植物保护学报, 31(2): 179-184.
- 鞠瑞亭, 杜予州, 周福才, 于淦军, 龚伟荣, 2003. 入侵性害虫蔗扁蛾的传播现状. 植物检疫, 17(4): 228-231.
- 殷玉生, 顾忠盈, 周明华, 2006. 入侵性害虫——蔗扁蛾的研究进展. 检验检疫科学, 16(1): 76-78.
- 张古忍, 张文庆, 古德祥, 1998. 新害虫蔗扁蛾的寄主范围调查初报. 昆虫天敌, 20(4): 187.
- 朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆, 2013. 生态位模拟的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 21(1): 90-98.
- 朱耿平, 乔慧捷, 2016. Maxent 模型复杂度对物种潜在分布区预测的影响. 生物多样性, 24(10): 1189-1196.

- ANDERSON R P, 2012. Harnessing the word's biodiversity data: promise and peril in ecological niche modeling of species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1260(1): 66–80.
- ANDERSON R P, GONZALEZ J I, 2011. Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: an implementation with Maxent. *Ecological Modelling*, 222(15): 2796–2811.
- ARAÚJO M B, NEW M, 2006. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1): 42–47.
- BROWN J L, 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7): 694–700.
- ELITH J H, GRAHAM C H, ANDERSON R P, DUDIK M, FERRIER S, GUIAN A, HIJMAN R J, HUETTMANN F, LEATHWICK J R, LEHMANN A, LI J, LOHMANN L J, LOISELLE B A, MANION G, MORITZ C, NAKAMURA M, NAKAZAWA Y, OVERTON J M, PETERSON A T, PHILLIPS S J, RICHARDSON K, SCACHETTI-PEREIRA R, SCHAPIRE R E, SOBERÓN J, WILLIAMS S, WISZ M S, ZIMMERMANN N E, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129–151.
- HORTAL J, ROURA-PASCUAL N, SANDERS N J, RAHBEK C, 2010. Understanding (insect) species distributions across spatial scales. *Ecography*, 33(1): 51–53.
- PEARSON R G, DAWSON T P, 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361–371.
- PETERSON A T, SOBERON J, PEARSON R G, ANDERSON R P, MARTINEZ-MEYER E, NAKAMURA M, ARAÚJO M B, 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3/4): 231–259.
- VERBRUGGEN H, TYBERGHEIN L, BELTON G S, MINEUR F, JUETERBOCK A, HOARAU G, GURGEL C F, CLERK O D, 2013. Improving transferability of introduced species' distribution models: new tools to forecast the spread of a highly invasive seaweed. *PLoS ONE*, 8(6): e683337.
- ZHU G P, BU W J, GAO Y B, LIU G Q, 2012. Potential geographic distribution of brown marmorated stink bug invasion (*Halyomorpha halys*). *PLoS ONE*, 7(2): e31246.
- ZHU G P, GAO Y B, ZHU L, 2013. Delimiting the coastal geographic background to predict potential distribution of *Spartina alterniflora*. *Hydrobiologia*, 717(1): 177–187.

(责任编辑:杨郁霞)