

气候变暖情境下华山松大小蠹在中国的潜在分布区预测

王茹琳 姜 淦 王闫利 林 姗 沈沾红

(四川省农村经济综合信息中心 四川 成都 610072)

摘 要: 华山松大小蠹是我国特有害虫,主要危害华山松,每年给我国林产业造成严重的经济损失。因此,搞清楚华山松大小蠹在中国的潜在分布对有效控制其扩散蔓延有重要的指导意义。本研究基于最大熵算法的生态位模型 MaxEnt 和地理信息系统软件 Divagis 对华山松大小蠹进行适生区分析及预测,用 ROC 曲线对预测模型和结果进行了评估,用刀切(Jackknife)法分析了影响华山松大小蠹的重要因子。结果表明:华山松大小蠹在我国适生范围比较集中;高风险区主要分布在陕西南部、四川东北部和甘肃东南部3省交界地区,对华山松大小蠹发生具有重要影响的是最干季度的平均温度;随着全球气候的变化,在温室气体 A1b 排放情景下,华山松大小蠹在 2050 年的预测分布结果显示高风险区范围变化不大,中风险区范围有所转移;A2a 和 B2a 排放情景下,高风险区范围有所变化,湖北和四川两省分布面积增大,中风险区范围变化不大。

关键词: 华山松大小蠹; MaxEnt; 适生性分布; 影响因子

中图分类号: S763 文献标识码: A 文章编号: 1003-5508(2015)01-0073-06

Prediction of the Potential Distribution of *Dendroctonus armandi* in China

WANG Ru-lin JIANG Gan WANG Yan-li LIN Shan SHEN Zhan-hong

(Rural Economic Information Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: *Dendroctonus armandi* is a destructive insect of *Pinus armandi*, and causes a serious economic loss to the forest industry in China every year. Determination of the potential geographical distribution of *Dendroctonus armandi* is an important factor for effectively controlling the spreading of this pest. In this study, niche model MaxEnt and Divagis were applied to analyze and predict the suitable distribution area of *Dendroctonus armandi*, ROC was used to evaluate the prediction model and the prediction results, and Jackknife analysis was made on the most important environmental factors affecting the occurrence of *Dendroctonus armandi*. The results showed that *Dendroctonus armandi* had a concentrated distribution area in China, and the pest was mainly distributed in the southern part of Shanxi province, the northeastern of Sichuan province and the southeastern of Gansu province, and the most important environmental factors affecting the occurrence of *Dendroctonus armandi* was the mean temperature of the driest quarter. As the global climate changes, the potential distribution range of *Dendroctonus armandi* will vary according to different emission scenarios. With greenhouse gases under the A1b emissions scenario, by the year 2050, the high-risk areas will not change significantly, the medium-risk areas will transfer to other places; while under A2a and B2a emission scenarios, the potential distribution of *Dendroctonus armandi* will have a tendency to expand in Sichuan and Hubei provinces, but the medium-risk areas will not change significantly.

Key words: *Dendroctonus armandi* ,MaxEnt ,Suitability analysis ,Environmental factors

华山松大小蠹 (*Dendroctonus armandi* Tsai et Li) 属鞘翅目 (Coleoptera) 齿小蠹科 (Ipidae) 大小蠹属 (*Dendroctonus*) 昆虫, 又名凝脂小蠹, 为我国特有种。主要侵害 30 a 以上健康华山松树干的 下半部或中下部, 间或危害衰弱木, 导致树势衰弱, 为其他害虫, 包括 20 余种小蠹虫、天牛及象甲创造有利条件。该虫隐蔽性强, 世代重叠严重, 防治十分困难, 每年大量发生危害, 严重影响木材材质, 降低经济价值, 甚至导致华山松大量死亡, 给我省华山松林区生态环境建设和林业产业带来巨大的损失^[1]。

气候是决定物种地理分布范围的最主要因素, 气候变暖可能造成物种分布范围的扩大(如生物入侵)、转移和缩小(如物种灭绝)。在气候变化的动态环境影响下对生物分布区域进行预测是我们所面临的一个挑战。随着全球气候变化, 如果华山松大小蠹进一步扩散将对我国林业产业造成更大威胁, 明确其在我国的适生区分布以及未来气候变化对其在中国潜在地理分布的影响, 对科学的防控其危害、保护我国林产业的安全生产与林业生态环境具有重要意义^[3,4]。

本研究采用基于最大熵算法的 MaxEnt 生态位模型软件, 对目前和 2050 年气候变暖情况下华山松大小蠹在中国的潜在分布进行了预测, 为明确该害虫在中国的潜在分布区域及其变化趋势。进一步开展该虫在我国的分布区域测报以及制定有效的检疫措施和防治决策提供依据。

1 材料与方法

1.1 软件来源

本研究主要采用的 MaxEnt 软件从 <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/> 免费下载, 版本为 3.3.3。用于图形处理的 GIS 软件为 Diva-gis, 从 <http://www.diva-gis.org/> 免费下载。

1.2 环境数据

地图资料: Diva-gis 中需要的地图数据采用从国家基础地理信息系统 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>) 下载的 1:400 万的中国行政区划图, 作为中国分析的底图。

环境变量: 环境数据采用 WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>) 下载的当前(1950 年~2000 年监测数据) 以及 2050 年 3 种温室气体排放情景下气

候变暖的 19 个生物气候变量(见表 1), 数据空间分辨率为 5 min。

表 1 Bioclim 19 项数据描述列表

Table 1 Content information of 19 Bioclim data

变量	英文	中文
BIO1	Annual Mean Temperature	年平均气温
BIO2	Mean Diurnal Range	平均日较差
BIO3	Isothermality (P2/P7) (* 100)	等温性
BIO4	Temperature Seasonality	温度季节性变化标准差
BIO5	Max Temperature of Warmest Month	最暖月最高温度
BIO6	Min Temperature of Coldest Month	最冷月最低温度
BIO7	Temperature Annual Range	年均温变化范围
BIO8	Mean Temperature of Wettest Quarter	最湿季度平均温度
BIO9	Mean Temperature of Driest Quarter	最干季度平均温度
BIO10	Mean Temperature of Warmest Quarter	最暖季度平均温度
BIO11	Mean Temperature of Coldest Quarter	最冷季度平均温度
BIO12	Annual Precipitation	年降水量
BIO13	Precipitation of Wettest Month	最湿月降水量
BIO14	Precipitation of Driest Month	最干月降水量
BIO15	Precipitation Seasonality	降水量变异系数
BIO16	Precipitation of Wettest Quarter	最湿季度降水量
BIO17	Precipitation of Driest Quarter	最干季度降水量
BIO18	Precipitation of Warmest Quarter	最暖季度降水量
BIO19	Precipitation of Coldest Quarter	最冷季度降水量

1.3 华山松大小蠹分布数据的收集与处理

本研究的分布数据来源于国内外公开发表的论文, 根据 MAXENT 软件要求, 将华山松大小蠹实际分布按物种名、分布点经度和分布点纬度顺序储存成 csv 格式的文件, 东经和北纬为正, 西经和南纬为负。

1.4 研究方法

MAXENT 模型预测: 将分布数据和环境数据导入 MAXENT, 随机选取 25% 的分布点作为测试集 (test data), 剩余的作为训练集 (training data), 其他参数均为软件默认值, 输出格式为 ASCII 栅格图层, 导入 Diva-gis 处理, 将华山松大小蠹在我国的潜在适生区划分为 4 个风险等级: 高风险区 (61-100)、中风险区 (31-60)、低风险区 (11-30) 和无风险区 (0-10), 使预测结果分级显示。

2 结果与分析

2.1 华山松大小蠹在中国的适生性分析

利用 diva-gis 将 MaxEnt 运行的结果和中国省级行政区图叠加, 得到华山松大小蠹在中国的适生性分布结果见图 1。根据目前华山松大小蠹的分布及气象条件, 华山松大小蠹高风险区主要集中在

陕西南部、四川东北部和甘肃东南部三省交界地区, 这些地区也是我国华山松大小蠹发生比较严重的地区 适生性指数都超过 60。中风险区分布范围以高

风险区为核心向外扩大,主要集中在四川、陕西、山西、河南和山东等省份。上述结果表明,华山松大小蠹的适生范围比较集中,主要在我国的中西部地区。

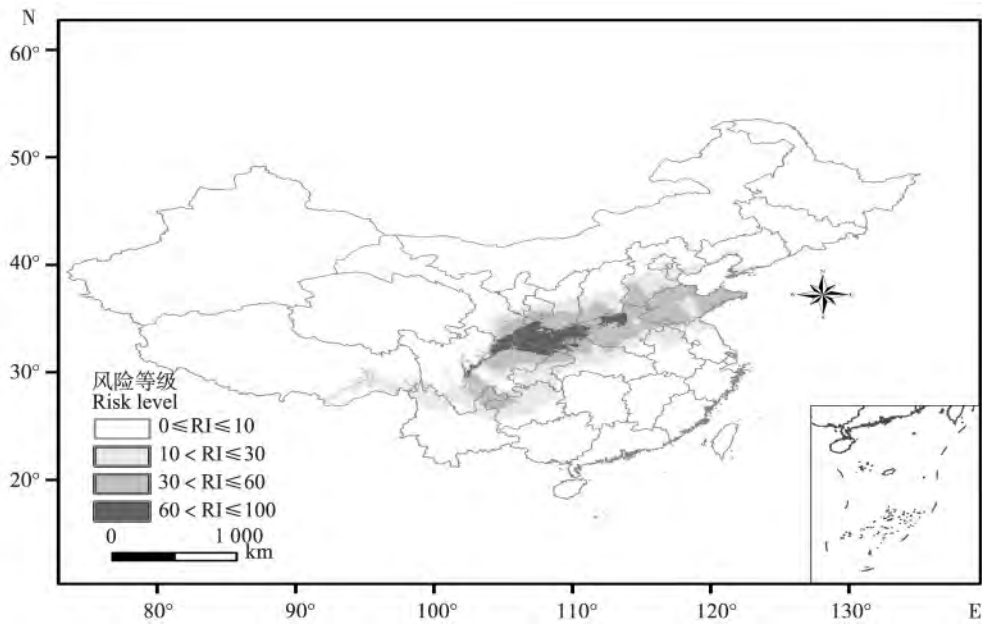


图 1 华山松大小蠹在我国适生性分布的 MaxEnt 预测图

Fig. 1 Suitable distribution map of *Dendroctonus arandii* in China by MaxEnt

2.2 2050 年气候变暖情况下华山松大小蠹适生区变化

根据 IPCC AR4 温室气体在 A1b(各种能源之间的平衡)、A2a(较高能源需求)和 B2a(较低能源需求)3种排放情景下,2050 年华山松大小蠹在我国的预测结果如图 2~图 4 和当前气候条件预测结果相比较,华山松大小蠹适生范围有一定变化。在

温室气体 A1b 排放情景下,华山松大小蠹在 2050 年的预测分布结果显示高风险区范围变化不大;中风险区范围有所转移,山东分布减少,河北分布面积扩大;A2a 和 B2a 排放情景下,高风险区范围有所变化,湖北和四川两省分布面积增大,中风险区范围变化不大。

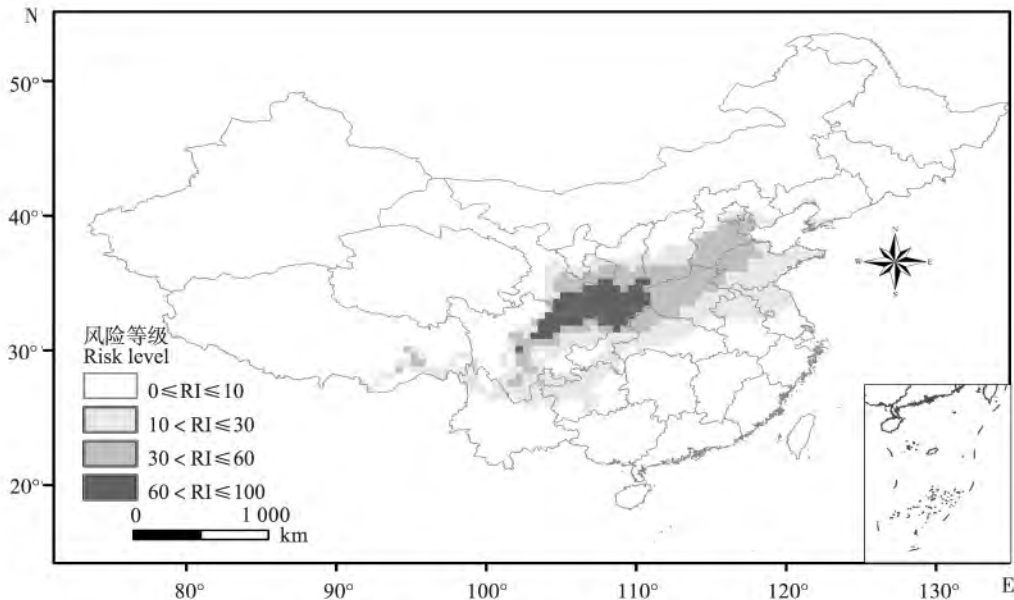


图 2 A1b 能源利用模式下 2050 年华山松大小蠹在中国的适生区预测

Fig. 2 Suitable distribution map of *Dendroctonus arandii* in China by MaxEnt under A1b in 2050

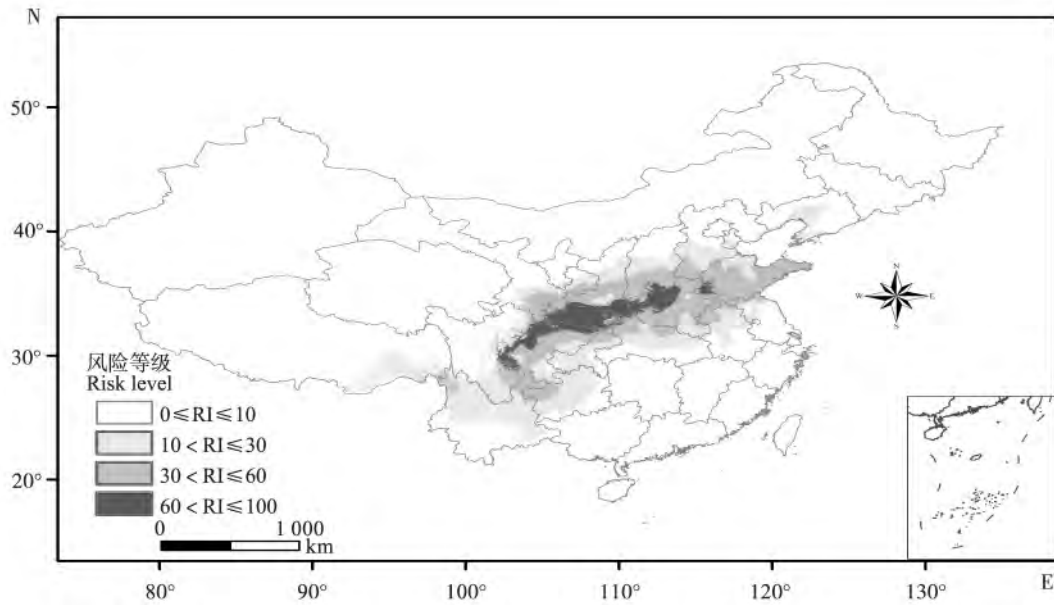


图3 A2a 能源利用模式下 2050 年华山松大小蠹在中国的适生区预测

Fig.3 Suitable distribution map of *Dendroctonus arandii* in China by MaxEnt under A2a in 2050

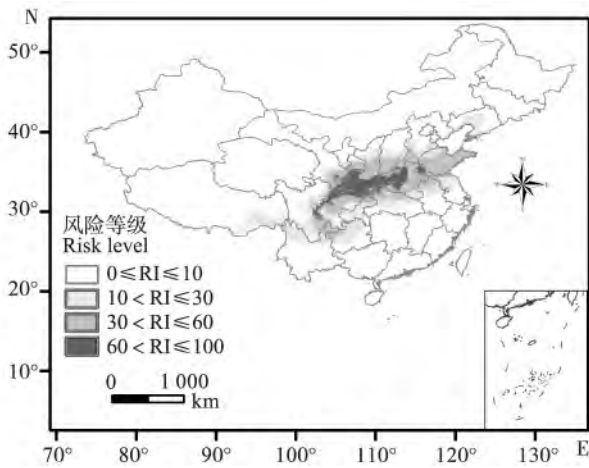


图4 B2a 能源利用模式下 2050 年华山松大小蠹在中国的适生区预测

Fig.4 Suitable distribution map of *Dendroctonus arandii* in China by MaxEnt under B2a in 2050

行评价,将其曲线下面积(AUC)的大小作为模型预测效果的衡量指标,AUC 值在 0~1,值越大表示模型预测效果越好。

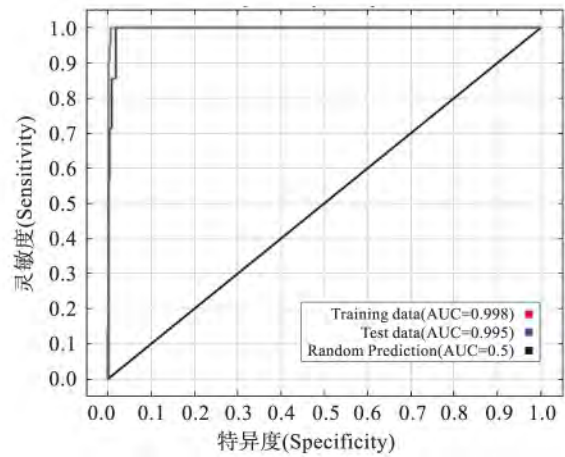


图5 ROC 曲线及 AUC 值

Fig.5 ROC curve and AUC value

2.3 模型预测结果的 ROC 评估

近年来,受试者工作特征曲线 ROC 分析方法在物种潜在分布预测模型评价中应用越来越广泛^[5,6]。ROC 曲线下的面积为 AUC 值,AUC 值因不受阈值影响,是目前最常用的模型评价指标之一。一般认为 AUC 值 0.5~0.7 时诊断价值较低,0.7~0.9 时诊断价值中等,大于 0.9 时诊断价值较高^[7]。本研究所得的 AUC 值为 0.995(图 5),比随机分布模型的 AUC 值(约为 0.5)大,说明预测结果具有较高的可信度。ROC 模型预测结果利用 ROC 曲线进

2.4 华山松大小蠹发生的影响因子

利用 MaxEnt 软件的 Jackknife 分析来确定物种发生与环境因子之间的关系。若某些地区的环境因子能够满足物种的生态位需求,那么这种因子对物种发生的贡献率就高,物种在该地区潜在分布的概率就大^[8,9]。Jackknife 分析时,环境变量被轮流逐一剔除,并用剩余的变量参与运算,即使用交叉验证的方法判断哪些环境变量对模型更重要^[11]。华山松大小蠹发生与环境变量关系的 Jackknife 分析结

果如图 3 所示: 黑色横条越长, 说明该变量的贡献率(训练增益)越大, 代表该变量越重要。各环境变量的中英文对照名见表 1。

从图 6 可以看出, 最干季度平均温度(bio 9) 对华山松大小蠹分布影响最大, 训练增益(training gain) 超过了 2.0。最冷季度平均温度(bio 11), 最

湿月降水量(bio 13) 和最冷月最低温度(bio 6) 对该虫分布影响较大, 训练增益均超过 0.15。平均日较差(bio 2)、最暖月最高温度(bio 5)、最湿季度平均温度(bio 8) 和最暖季度平均温度(bio 10) 对华山松大小蠹分布影响较小, 它们的训练增益都小于 0.05。说明对华山松大小蠹发生影响最大的是

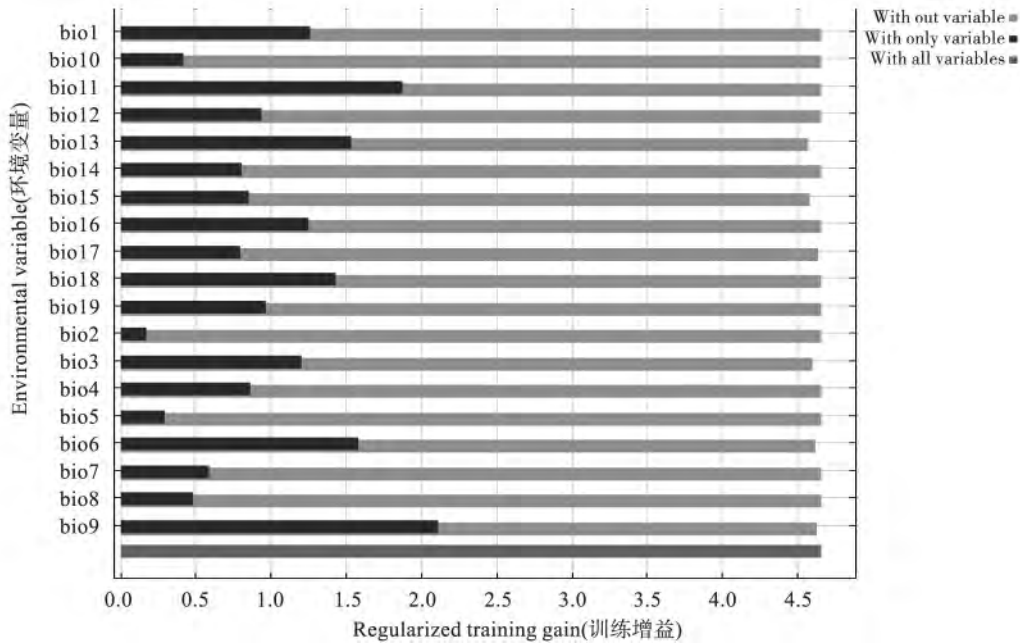


图 6 华山松大小蠹发生与环境因子关系的 Jackknife 分析

Fig. 6 Jackknife analysis of the relationship between *Dendroctonus armandi* and environmental factors

3 讨论

全球气候变化已经给人类社会和自然界的各个方面带来了巨大的影响。气候是决定大范围内物种地理分布的主要因素^[12, 13], 随着全球气候变暖, 很多物种有向高纬度地区扩散的趋势。全球气候变化改变病虫害的分布和危害范围, 气候变暖使森林病虫害发生期提前, 世代数增加, 全球变暖使害虫越冬代北移, 越冬基地增加, 迁飞范围扩大, 发生范围和危害程度加大。近年来一些研究表明全球气温升高会扩大入侵物种的潜在适生区, 增大其原有分布区丰度, Morrison 等^[14] 预测红火蚁(*Solenopsis invicta*) 在美国 40 a ~ 50 a 后的适生区域将比现有区域扩大 5%, 到 21 世纪末, 这个数字则会大于 21%。王鸿斌^[15] 等利用地理信息系统软件 Arcview3.2 和全国 305 个站点的气候数据预测出红纸大小蠹在我国的气候适生区, 确定目前发生区并非其最佳适生区, 而是稍偏北的地区。何善勇等利用 CLIMEX 软件预测

出未来 30 a 内松材线虫在我国潜在适生区, 结果发现未来同历史气候条件下相比, 未来 30 a 内松材线虫在我国的适生区将呈范围增大、适生程度增加、有向北扩散的趋势^[16]。马菲等研究桃蛀螟在新疆的适生区, 结果表明桃蛀螟在新疆北部和西部有较大的适生区域, 未来有从内地传入新疆地区的风险^[17]。因此, 在进行病虫害的适生区预测时应考虑未来气温升高对入侵物种潜在分布区的影响。

MaxEnt 模型是一种基于机器学习和数学统计的生态位模型, 主要通过物种已知分布数据和环境数据找出物种概率分布的最大熵, 从而对物种的分布进行估计和预测。本模型包含影响物种分布的多个环境变量图层, 不需要大量的物种生态生理资料, 具有更大的灵活性, 与一些常用的生态位模型(如 GARP、DOMAIN、BIOCIM 等) 相比, 它操作方便, 运算速度较快, 是近年来较常用的一种适生性预测软件, 具有广泛的应用前景。

本研究通过 MaxEnt 与 GIS 软件的结合, 预测出华山松大小蠹在我国的潜在适生区, 并选择了 SRES

中的 3 种温室气体排放情景 A1b、A2a 和 B2a 对华山松大小蠹 2050 年在中国的可能适生区域进行了预测。研究表明: (1) 凡华山松大小蠹发生的地区几乎均包含在预测结果中, 高风险区涵盖了目前华山松大小蠹发生严重的四川、陕西和甘肃等地区, 中、低风险区包含的范围则更加详尽, 较好的预测出该虫在我国的适生性分布。(2) 2050 华山松大小蠹在中国的适生区范围有所变化, 在温室气体 A1b 排放情景下, 中风险区范围有所转移, 山东分布减少, 河北分布面积扩大; A2a 和 B2a 排放情景下, 高风险区范围有所变化, 湖北和四川两省分布面积增大, 中风险区范围变化不大。因此, 为了避免该害虫的进一步危害, 在我国四川、陕西、甘肃和湖北等高度适生区需要进一步加强对其监测预警体系的建设, 注意加强检验, 建立长期稳定的监测点, 加强预测预报, 防止其发生大灾, 并向其他地区扩散。

参考文献:

- [1] 王茹琳, 杨伟, 杨佐忠, 等. 华山松大小蠹对几种寄主挥发物组分的 EAG 和行为反应[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 724 - 729. [2] 王茹琳, 杨伟, 杨佐忠, 等. 华山松大小蠹对 9 种植物挥发物的 EAG 和行为反应[J]. 中国森林病虫, 2011, 30(1): 23 - 26.
- [3] 陈新云, 刘承芳, 程志楚. 我国森林灾害及影响分析研究[J]. 河北林业科技, 2010(2): 41 - 42.
- [4] 张梅, 王敏慧, 陈玉光, 等. 林业有害生物发生率与气象条件关系及预报[J]. 辽宁林业科技, 2010(4): 24 - 26.
- [5] Brotons L, Thuiller W, Araujo M B, et al. Presence-absence versus presence-only modeling methods for predicting bird habitat suitability[J]. Ecography, 2004, 27(4): 437 - 448.
- [6] Elith J, Graham H C, Anderson R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 2006, 29(2): 129 - 151.
- [7] Walther G R, Post E, Convey P, et al. Ecological response to recent to recent climate change[J]. Nature, 2002, 416: 389 - 395.
- [8] 朱猛蒙, 蔡风环, 张蓉, 等. 基于 GIS 的瓜蚜种群空间结构和分布模拟[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2691 - 2696.
- [9] Wang R, Wang Y Z. Invasion dynamics and potential spread of the invasive alien plant species *Ageratina adenophora* (Asteraceae) in China. Diversity and Distributions, 2006, 12: 397 - 408.
- [10] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190: 231 - 259.
- [11] Phillips S J, Dudik M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of 21st International Conference on Machine Learning, Banff, Canada, 2004: 215 - 232.
- [12] Pearson R G, Dawson T P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? [J]. Global Ecology and Biogeography, 2003, 12: 361 - 371.
- [13] Sutherst R W. Climate change and invasive species - a conceptual framework [A]. In: Mooney H A, Hobbs R J. Invasive Species in a Changing World [M]. Washington, DC: Island Press, 2000.
- [14] Morrison L W, Korzukhin M D, Porter S D. Predicted range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*, in the eastern United States based on the VEMAP global warming scenario [J]. Diversity and Distributions, 2005, 11: 199 - 204.
- [15] 王鸿斌, 张真, 孔祥波, 等. 入侵害虫红纸大小蠹的适生区和适生寄主分析[J]. 林业科学, 43(10): 71 - 76.
- [16] 何善勇, 温俊宝, 骆有庆, 等. 气候变暖情境下松材线虫在我国适生区范围[J]. 应用昆虫学报, 2012, 4(1): 236 - 243.
- [17] 马菲, 何友元, 赵林忠, 等. 桃蛀螟在新疆的适生区预测[J]. 植物保护, 2012, 38(2): 136 - 138.
- [18] 陈晨, 龚伟荣, 胡白石, 等. 基于地理信息系统的红火蚁在中国适生区的预测[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2093 - 2097.