

基于 MaxEnt 模型的气候变化下杏树鬃球蚧在中国的潜在地理分布预测

郭发城¹, 王玉丽², 欧阿力别克·巴依朱马³, 高桂珍^{1*}

¹新疆农业大学林学与风景园林学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; ²特克斯县林业和草原局, 新疆 特克斯 835599; ³巩留县林业和草原局, 新疆 巩留 835400

摘要:【目的】杏树鬃球蚧在天山野果林暴发成灾,对野杏的生存以及野果林的生态环境造成严重影响,同时危害栽培果园。预测未来气候情景下杏树鬃球蚧在中国的潜在适生区,可为农林部门开展防控工作提供科学依据。【方法】收集关于杏树鬃球蚧的分布点与气候数据,采用 MaxEnt 模型预测其在我国的适生区。【结果】MaxEnt 模型中的 AUC 值为 0.949,表明预测结果具有较高可靠性。最冷月最低温度、最冷季度降水量、温度季节性变化标准差、等温性是影响杏树鬃球蚧潜在分布的主要环境变量。杏树鬃球蚧在我国分布区较为广阔。该模型预测杏树鬃球蚧的高适生区主要分布在辽宁省环渤海区域、河北、北京、天津、山东、河南、陕西省中部、甘肃和陕西的临界处,以及新疆维吾尔自治区的伊犁哈萨克自治州、巴音郭楞蒙古自治州和阿勒泰地区,中适生区以高适生区为核心向外蔓延。其高、中、低适生区分别占中国陆地面积的 4.62%、6.69%、18.77%。未来气候情景下,高适生区呈进一步扩散趋势,尤其在新疆地区,高适生区大面积扩散。【结论】杏树鬃球蚧适生区面积占陆地面积的 30.08%,有继续扩张和大面积暴发风险,在我国西北地区、华北地区面临的形势更为严峻,应引起相关部门关注。
关键词: 杏树鬃球蚧; MaxEnt 模型; 潜在地理分布; 气候变化



开放科学标识码
(OSID 码)

Prediction of potential geographical distribution of *Sphaerolecanium prunastri* under different climate change scenarios based on MaxEnt model

GUO Facheng¹, WANG Yuli², BAYIZHUMA · Oalibiek³, GAO Guizhen^{1*}

¹College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

²Tekesi County Forestry and Grassland Bureau, Tekesi, Xinjiang 835599, China;

³Gongliu County Forestry and Grassland Bureau, Gongliu, Xinjiang 835400, China

Abstract:【Aim】*Sphaerolecanium prunastri*, a scale insect which harms wild fruit forests in western Tianshan, Xinjiang, is inducing massive mortality of *Prunus armeniaca* and the decline of ecosystem health and services. The potential suitable habitats in China under future climate scenarios were predicted, which can provide scientific basis for the prevention and control of *S. prunastri* in agriculture and forestry departments.【Method】Based on the collection of geographical distribution points of *S. prunastri* and global meteorological data, MaxEnt model was used to predict and analyze the potential suitable habitats in China.【Result】The average AUC of the MaxEnt model was 0.949, suggesting the prediction results highly reliable. The main environmental variables affecting the potential distribution of *S. prunastri* were min temperature of coldest month, precipitation of coldest quarter, standard deviation of temperature seasonal change and isothermality. The results showed that *S. prunastri* could have a wide potential distribution in China. The model predicted that *S. prunastri*'s highly suitable habitats were mainly distributed in Bohai Coastal Region of Liaoning Province, Hebei Province, Beijing, Tianjin, Shandong Province, Henan Province, central Shaanxi Province, as well as the border area between Gansu Province and Shaanxi Province, and the Yili Kazakh Autonomous Prefecture, Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture, and Altay region of Xinjiang Uygur Autonomous Region. The moderately suitable habitat were mainly distributed in Liaon-

收稿日期(Received): 2023-02-13 接受日期(Accepted): 2023-07-20

基金项目: 中央财政林草科技推广示范项目(2020TG09); 新疆维吾尔自治区天山英才计划

作者简介: 郭发城, 男, 硕士研究生。研究方向: 林业有害生物与防治。E-mail: 877437799@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), 高桂珍, E-mail: gaoguizhen1984@163.com

ing, Inner Mongolia, Shanxi, and Xinjiang. The area ratios of highly suitable habitats, moderately suitable habitats, and low suitable habitats were 4.62%, 6.69%, and 18.77%, respectively. Under the future climate scenario, the highly suitable habits showed a dispersion trend, especially in Xinjiang. 【Conclusion】 The habitats suitable for *S. prunastri* account for 30.08% of all land area, with a risk of continued spreading and invading outbreaks, especially in the northwest and north of China. Relevant departments should pay attention to it.

Key words: *Sphaerolecanium prunastri*; MaxEnt model; potential geographic distribution; climatic change

杏树鬃球蚧 *Sphaerolecanium prunastri* Fonscolombe 又名杏球蚧、圆球蜡蚧, 隶属于半翅目 Hemiptera 蚧总科 Coccoidea 蚧科 Coccidae 鬃球蚧属 *Sphaerolecanium*。2019 年杏树鬃球蚧在新疆伊犁野果林大面积暴发, 引起广泛关注。王玉丽等 (2021, 2022) 和令狐伟等 (2021) 相继对其发生危害及化学防治进行了报道。

杏树鬃球蚧最早发现于于古北区的亚热带地区, 该蚧在亚洲的格鲁吉亚 (Japoshvili, 2001)、土耳其西南部的伊斯帕尔塔省、乌兹别克斯坦、以色列、阿塞拜疆 (Ben-Dov, 1993)、叙利亚 (Saleh *et al.*, 2019)、摩尔多瓦 (Kozár & Ostafichuk, 1987)、安纳托利亚中部 (Ülgentürk & Canakcioglu, 2004)、俄罗斯的克拉斯诺达尔及我国的新疆、辽宁、河北、山东及陕西 (王琛, 2010)、欧洲的匈牙利 (Kozár *et al.*, 1977)、前南斯拉夫 (Kozár, 1983)、捷克共和国 (Kozár, 1987)、保加利亚 (Nachev & Grenchev, 1987)、希腊 (Kozár *et al.*, 1991)、比利时、乌克兰 (Karaca *et al.*, 2003)、北美洲美国的马里兰州、新泽西州、纽约州、宾夕法尼亚州等地区均有分布。

杏树鬃球蚧主要以刺吸式口器危害野杏三年生枝条 (王玉丽等, 2021), 导致枝条干枯, 同时该蚧可传播煤污病, 危害严重时可导致整株树死亡, 严重威胁野杏的生存和野果林的生态平衡 (王玉丽等, 2022)。杏树鬃球蚧为多食性昆虫, 危害范围广, 寄主植物包括番杏科 (Kfir & Rosen, 1980)、桑科 (Pellizzari *et al.*, 2011)、禾本科 (Kozár & Drozdjak, 1993)、鼠李科 (Bodenheimer, 1944) 及蔷薇科 (Kozár *et al.*, 1979) 中的一些种类, 并具有蚧科昆虫特性, 即生殖能力强、扩散速度快和对环境适应性强等, 对野果林的其他野生资源和栽培果园同样具有重大威胁 (王玉丽等, 2022)。

生态位模型常用于预测物种的实际和潜在分布区域, 成为预测物种适生区的重要工具 (许仲林等, 2015)。最大熵模型 MaxEnt 具有操作流程简单、图形界面清晰、运行时间短、预测结果稳定和预

测结果精度高等特点, 在深层次的理论问题研究中更具说服力及应用价值 (张路, 2015)。MaxEnt 模型在入侵生物、物种保护、气候变化以及生物进化等领域均广泛应用, 已被用于多种害虫适生区预测, 如稻水象甲 *Lissorhuptrus oryzophilus* Kuschel (Dixon, 1977)、马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* Say (Feng *et al.*, 2013)、美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury (Gill & Sangermano, 2016) 等, 且预测结果与物种真实分布情况相似度极高。本文采用 MaxEnt 模型分析现在及未来气候情景下杏树鬃球蚧在中国的潜在地理分布, 明确其生境喜好及限制因子, 以期合理制定综合防控策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 杏树鬃球蚧的分布数据与处理

从全球生物多样性机构网站 (GBIF, <http://www.gbif.org/>) 及国内外公开发表与杏树鬃球蚧有关的期刊论文获取杏树鬃球蚧的分布数据。利用缓冲区分析法校对, 甄别所得分布点, 筛选、排除距离小于 3 km 的点, 以消除干扰 (徐养诚等, 2021), 总共得到 207 个分布点, 按照 MaxEnt 格式要求转换经纬度并输入 Excel, 另存为 .csv 格式待用。

1.2 预测环境变量

1.2.1 环境变量数据来源 研究所用到的现在与未来环境变量均下载于 Worldclim 全球气候网站 (<https://www.worldclim.org/data/index.html>), 当前环境数据为 1950—2000 年, 未来气候数据为 CMIP6 气候模式中 2030、2050 年的 2 种不同碳排放程度下的情景, ssp126 情景代表一个低碳排放下的未来, ssp370 情景代表一个高碳排放下的未来 (李宛鸿和徐影, 2023)。对气候资料进行分析处理后得到各主要生物气候因子的分布图。运用 ArcGIS 软件提取 19 个影响较大的生物气候因子。

1.2.2 影响杏树鬃球蚧潜在分布关键环境变量的筛选 将下载的 19 个环境变量利用刀切法 (jack-knife test) 根据各环境变量的训练得分, 通过 EN-

Mtools 进行相关性分析,剔除影响程度小的因子和相关性超过 0.85 的因子,留下影响较大的 7 个环境因子(bio6 最冷月最低温度、bio19 最冷季度降水量、bio4 温度季节性变化标准差、bio3 等温性、bio14 最干月降水量、bio13 最湿月降水量、bio15 降水量变异系数),从而提高模型的精准度。

1.3 地图数据来源

本研究所使用的矢量地图从标准地图服务平台(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/index.html>)获取。

1.4 MaxEnt 模型的操作与结果评价

在 MaxEnt Version 3.4.1 软件上加入杏树鬃球蚧分布点及环境因子数据,随机抽取 75%分布点作为训练集(traning data),建立预测模型,其余 25%杏树鬃球蚧分布点为测试集(teat data),对模型进行验证。选用刀切法检验各个气候变量的贡献值的大小,选择建立环境变量曲线,将软件参数的重复次数定为 10,剩余的参数均作为模型的默认值。

采用 ROC 曲线(receiver operating characteristic curve)下面积(area under curve, AUC)值分析法检验预测结果的精度值。AUC 值的取值范围在 0~1,结果越接近 1,表示预测结果越可靠(王运生等,2007)。AUC 值评价标准:0.5≤AUC 值<0.6,失败;0.6≤AUC 值<0.7,较差;0.7≤AUC 值<0.8,一般;0.8≤AUC 值<0.9,好;0.9≤AUC 值<1.0,极好。

1.5 杏树鬃球蚧适生等级分区

使用 Geoprocessing-ArcToolbox-Spatial Analyst

Tools-Extraction-Extract by Mask 工具与中国矢量地图(.shp 格式)进行裁剪,得到 Tiff 格式的中国范围的气候数据,将裁剪后的气候数据通过转换工具将 Tiff 格式(栅格文件)转换为 ASC 格式。

MaxEnt 软件模拟输出的 AUC 值为 0~1,AUC 值与 1 越接近,表示物种存在的可能性越高,模拟的可靠性越高。参阅政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)报告(段居琦和周广胜,2011)中有关评估可能性的划分方法,根据杏树鬃球蚧的实际情况,利用“Re-classify”功能划分分布值的级别和对应的分布范围:SI<0.1 为非适生区;0.1≤SI<0.3 为低适生区;0.3≤SI<0.5 为中适生区;SI≥0.5 为高适生区(杜志宏等,2022)。

2 结果与分析

2.1 主导环境因子及环境检验

2.1.1 影响杏树鬃球蚧潜在分布主导环境变量筛选 通过 MaxEnt 的模拟结果,得到各环境变量对杏树鬃球蚧的贡献值。剔除对物种分布区内贡献值较低的环境变量,进而筛选出对模拟分布区有较大贡献值的环境变量作为主导变量(表 1)。其中,最冷月最低温度、最冷季度降水量、温度季节性变化标准差、等温性为限制杏树鬃球蚧的主导变量,单因子贡献率较其余因子显著增高,这 4 个主导因子累计贡献百分率高达 80.7%。

表 1 影响杏树鬃球蚧分布的环境变量贡献百分率和累计贡献百分率
Table 1 Environmental variables affecting the distribution of *S. prunastri* contributed percentage and cumulative contribution percentage

环境变量 Environmental variables	贡献百分率 Percent contribution%	累计贡献百分率 Accumulated percent contribution%
最冷月最低温度 Min temperature of coldest month	34.0	33.9
最冷季度降水量 Precipitation of coldest quarter	15.3	27.6
温度季节性变化标准差 Standard deviation of temperature seasonal change	13.9	5.4
等温性 Isothermality	13.2	13.8
最干月降水量 Precipitation of driest month	9.5	8.3
最湿月降水量 Precipitation of wettest month	7.5	6.8
降水量变异系数 Precipitation seasonality	6.6	4.2

2.1.2 模型精度检验 在利用杏树鬃球蚧的分布点与贡献值大的环境变量下,模拟得出 ROC 曲线图(图 1),AUC 值为 0.949,大于 0.9,本次建立的模型模拟预测精度达到“极好”标准,表明该预测结果准确可靠,可用于杏树鬃球蚧的适生区划分。

2.2 杏树鬃球蚧地理分布与环境变量间的关系

2.2.1 刀切法检验结果 刀切试验结果能较好反映不同环境变量对分布的影响率。刀切法检验中仅此因子的数值越高,表明该因子对物种的分布贡献值越大。由图 2 可见,最冷月最低温度是影响杏

树鬃球蚧分布最关键的环境变量;等温性以及最冷季度降水量也是影响其分布的关键因子。

2.2.2 MaxEnt 预测主导变量的影响 图 3 为 Max-Ent 模型所绘的主导环境变量与分布概率之间的反馈曲线,该图反映了在不同阈值下环境变量的取值范围。结果显示,bio3 等温性适宜范围为 15~23,最适等温性为 18.87,19.57~55.00 时随等温性升高

而降低。bio4 温度季节性变化标准差最适值为 30.54%,在峰值两侧显著降低。bio6 最冷月最低温度最适峰为-7℃,说明在该温度下杏树鬃球蚧开启越冬。bio19 最冷季度降水量在 27 mm 左右为最适峰值。在适宜范围内,各主导环境变量变化均会影响杏树鬃球蚧的存在概率,而取值在适宜范围之外,其影响杏树鬃球蚧分布的可能性逐渐降低。

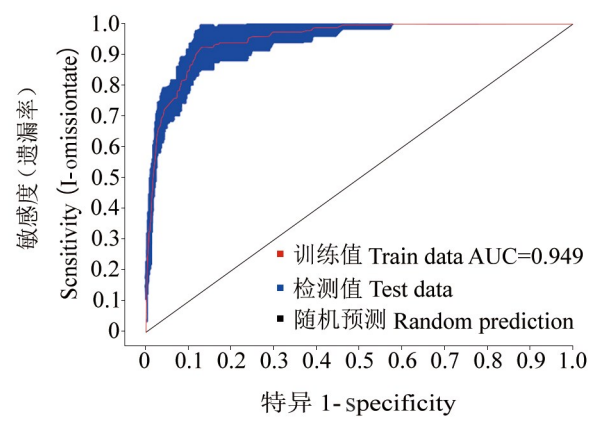


图 1 杏树鬃球蚧分布预测的 ROC 曲线

Fig.1 ROC curve of predicted distributions of *S. prunastri*

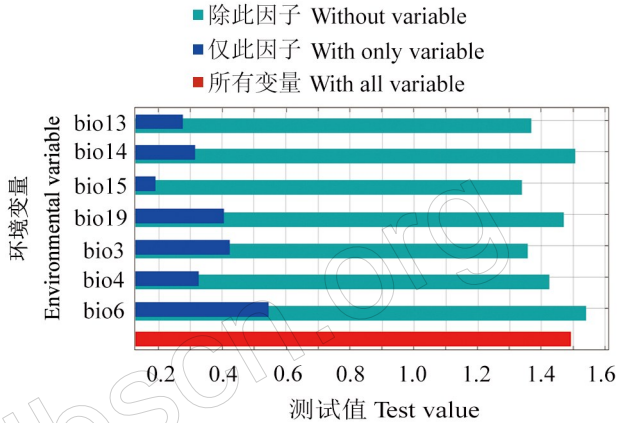


图 2 主要环境变量的刀切法测试

Fig.2 Jackknife test for key bioclimatic factors

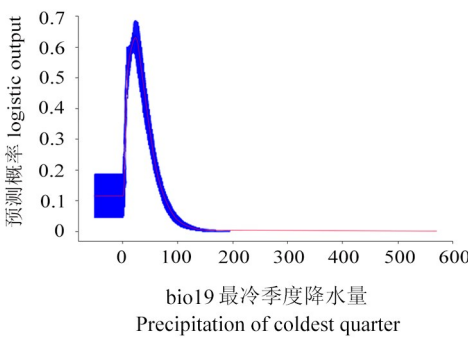
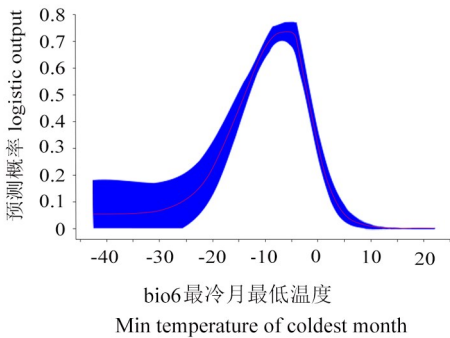
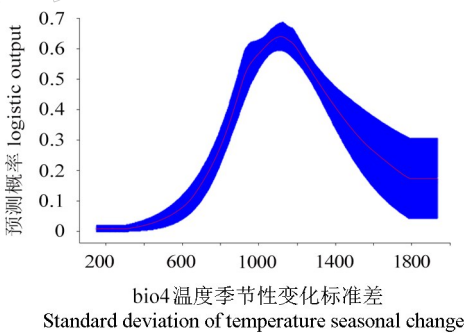
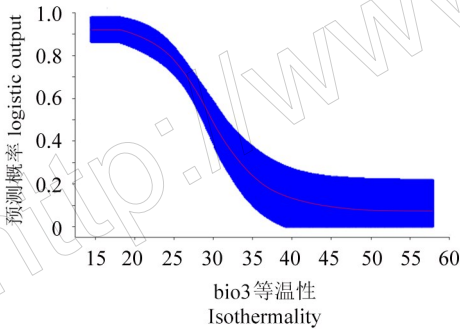


图 3 MaxEnt 模型中研究物种对主导环境变量的反馈曲线

Fig.3 The MaxEnt model studies the feedback curve of species to dominant environmental variables

2.3 杏树鬃球蚧在中国的地理分布的预测 基于 7 个主导环境变量及杏树鬃球蚧的分布

数据构建的模型,采用平均间距法把适宜度分为 4 个等级,得出我国杏树鬃球蚧适生区图(图 4)。

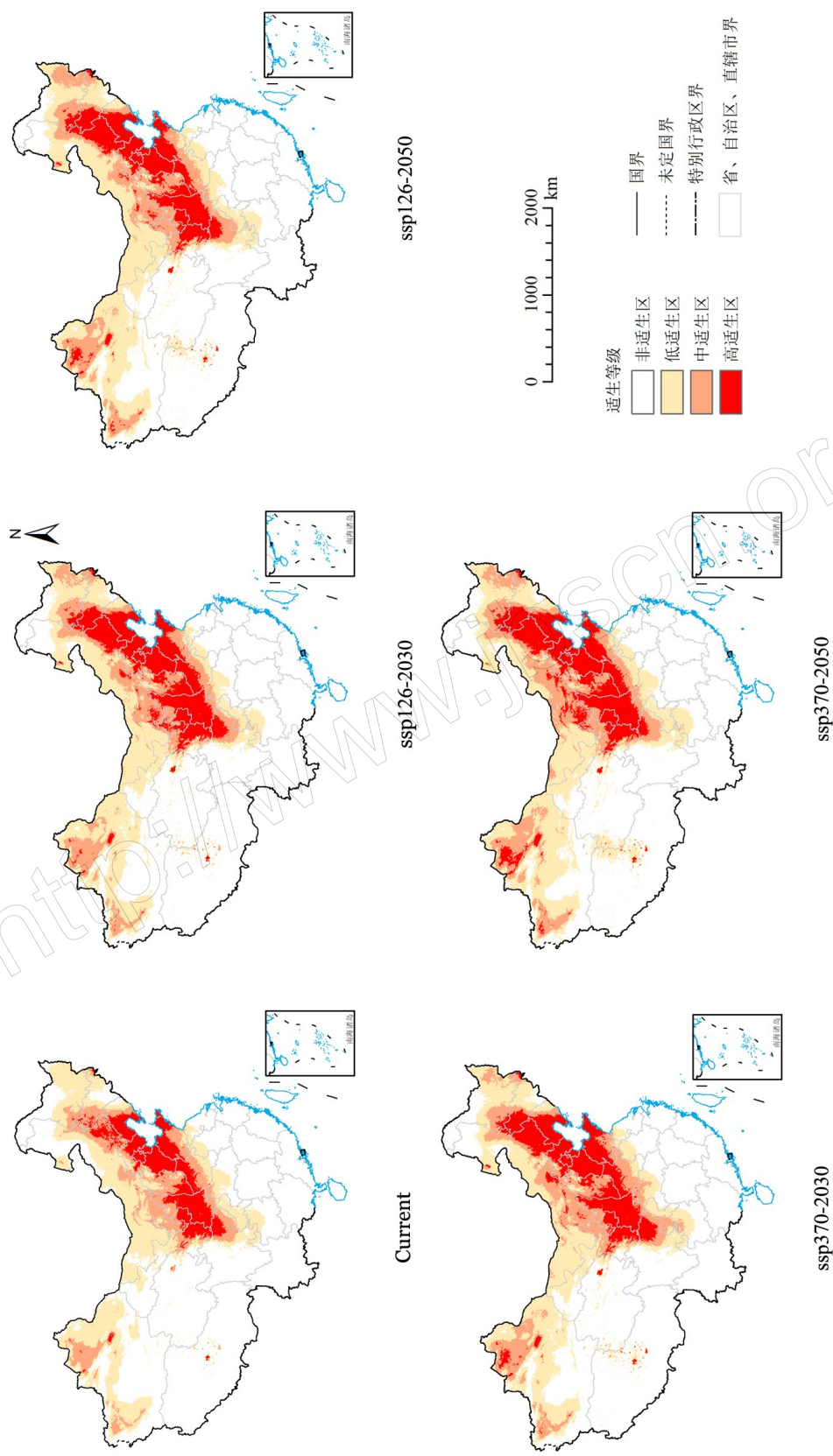


图 4 基于MaxEnt模型预测杏树鬃球蚧在中国的潜在地理分布[审图号: GS(2023)2936号]

Fig. 4 The predicted potential geographical distribution of *S. prunastri* in China based on MaxEnt model

在未来 2030、2050 年的 ssp126、ssp370 2 种情景下共 4 种未来情况对杏树鬃球蚧进行预测,预测结果准确性达到了极好的标准。图 4 和表 2 表明,高适生区占中国陆地面的 4.62%,主要分布在环渤海区域的大连、盘锦、锦州、葫芦岛,河北省的唐山、秦皇岛及张家口,北京、天津、山东省的烟台、威海、青岛、德州、聊城、滨州、东营和潍坊,河南省的三门峡、洛阳、开封、焦作、新乡和濮阳,山西省的临汾南

部,陕西省中部,甘肃省和陕西省的临界处,以及新疆维吾尔自治区的伊犁哈萨克自治州、巴音郭楞蒙古自治州和阿勒泰地区,中适生区则以高适生区为核心向外蔓延,高适生区由当前情景下的 4.62%,在 ssp126、ssp370 情景下进一步扩大,在 ssp370 情景 2050 年达到最高值 88.57 万 km²,占国土面积的 9.23%。

表 2 中国范围内杏树鬃球蚧潜在分布面积统计

Table 2 Statistics on the potential distribution area of *S. prunastri* in China

单位 Unit:×10⁴ km²

适生区类型 Types of suitable area	当前 Current	ssp126-2030	ssp126-2050	ssp370-2030	ssp370-2050
非适生区 Unsuitable area	671.18	539.25	518.31	583.21	566.67
低适生区 Lowly suitable area	180.20	246.69	255.39	207.29	199.71
中适生区 Moderately suitable area	64.22	96.26	110.20	91.60	105.03
高适生区 Highly suitable area	44.38	77.97	76.08	77.88	88.57

3 讨论

生物气候因子(即环境变量)的选取对所预测的生态位模型具有一定的影响(陈新美等,2012)。本项研究中所用的环境变量来自世界气候数据库,其中贡献值大和贡献值较小的气候因子均来源于下载的 19 个气候因子。这 19 个气候因素基于温度和降雨量,并根据不同的需求进行计算,因此变量之间自相关程度很高,预测时的诸多干扰、影响程度较低的环境因子对预测结果有一定影响。为了避免以上问题的发生,在建模时对环境变量进行了过滤筛选(王茹琳等,2017;殷晓洁等,2013;张路,2015)。基于各种环境因子对物种分布的贡献值,比较它们在物种分布种的重要作用,有效剔除贡献值低的环境变量,分析所选环境变量之间的相关性,将剩余的贡献值大的环境变量重建,仅用 7 个优势变量模拟,减少了其他无效环境因子或影响力较小因子的影响,使模拟结果的准确性更高。

本研究结果显示,杏树鬃球蚧主要分布在我国中低纬度地区,在未来情况下高适生区在新疆地区、华中地区、华东地区大面积扩散。温度对杏树鬃球蚧生长发育及种群发生具有重要影响,海拔越高,杏树鬃球蚧越冬死亡率高。等温性、温度季节性变化标准差、最冷月最低温度、最冷季度降水量作为影响杏树鬃球蚧的 4 个主导因子,对杏树鬃球蚧的分布变化影响显著。等温性是指某一地区的年平均温度与不同季节的温度变化程度。杏树鬃

球蚧适宜生长的温度范围比较窄,一般在 15~30℃。温度过低或过高均会影响杏树鬃球蚧的生长和繁殖。研究表明,杏树鬃球蚧的有效积温为 81.17 DD,卵的发育起点温度为 9.50℃,以 2 龄若虫在枝条上越冬,越冬死亡率达 65% 以上(王玉丽等,2021)。此外,降水量也会影响杏树鬃球蚧的分布。综上,杏树鬃球蚧适宜在最冷季温度较低地区及极端温度发生少的地区建群并大规模扩散。

采用 MaxEnt 模型虽具有一定优势,但物种和环境概率反馈之间的曲线仅反映单一环境变量,而昆虫的生命活动同时受到众多环境因子(气候、因子、天敌、食物及栖息地)的共同作用,因此,该结果可以为评判杏树鬃球蚧与环境变量间的关系提供参考依据,但无法全面准确地说明二者的关系。

MaxEnt 模型模拟结果为基础生态位,而基础生态位通常比实际生态位大(蔡静芸等,2014),所以在实际环境条件下,种间作用、植被类型、地形特征、本地物种的分布、土壤类型等也会对预测物种的潜在分布产生重大影响(Broennimann *et al.*, 2007; Giovanelli *et al.*, 2008; Guisan & Zimmermann, 2000)。

近年来杏树鬃球蚧在新疆野果林的暴发使得野杏的生存以及野果林的生态环境受到严重影响,同时由于杏树鬃球蚧可危害栽培杏园,潜在风险极大。目前该蚧呈现扩散趋势,因此需要提高对杏树鬃球蚧的诊断鉴定能力,积极开展杏树鬃球蚧的生物学、生态学、适生区预测和防控方法研究。

参考文献

- 陈新美, 雷渊才, 张雄清, 贾宏炎, 2012. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响. 林业科学, 48(1): 53–59.
- 蔡静芸, 张明明, 栗海军, 张海波, 2014 生态位模型在物种生境选择中的应用研究. 经济动物学报, 18(1): 47–52.
- 段居琦, 周广胜, 2011. 中国水稻潜在分布及其气候特征. 生态学报, 31(22): 6659–6668.
- 杜志宏, 刘伟, 曹学仁, 聂晓, 范洁茹, 王保通, 周益林, 刘万学, 徐向明, 2022. 气候变化情景下基于 MaxEnt 的麦瘟病在全球及中国的适生性分析. 植物保护, 48(5): 158–166.
- 令狐伟, 吕昭智, 王玉丽, 崔志军, 王强, 高桂珍, 2021. 杏树鬃球蚧防治药剂的筛选及田间防效. 西北林学院学报, 36(6): 173–180.
- 李宛鸿, 徐影, 2023. CMIP6 模式对青藏高原极端气温指数模拟能力评估及预估. 高原气象, 42(2): 305–319.
- 王琛, 2010. 陕西园林蚧虫种类调查(半翅目: 蚧总科). 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.
- 王茹琳, 李庆, 封传红, 石朝鹏, 2017. 基于 MaxEnt 的西藏飞蝗在中国的适生区预测. 生态学报, 37(24): 8556–8566.
- 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.
- 王玉丽, 吕昭智, 令狐伟, 高桂珍, 2021. 新疆野果林的新害虫——杏树鬃球蚧(半翅目: 蚧总科: 蚧科). 林业科学研究, 34(5): 152–158.
- 王玉丽, 吕昭智, 令狐伟, 王强, 高桂珍, 2022. 新疆野果林杏树鬃球蚧的发生及危害. 新疆农业科学, 59(7): 1741–1747.
- 邢丁亮, 郝占庆, 2011. 最大熵原理及其在生态学研究中的应用. 生物多样性, 19(3): 295–302.
- 许仲林, 彭焕华, 彭守璋, 2015. 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报, 35(2): 557–567.
- 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 何奇瑾, 李荣平, 2013. 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值. 生态学报, 33(1): 103–109.
- 赵浩翔, 冼晓青, 郭建洋, 张桂芬, 王瑞, 刘万学, 万方浩, 2022. 基于优化的 MaxEnt 模型预测海灰翅夜蛾潜在地理分布区. 植物保护, 48(6): 16–22.
- 张路, 2015. 基于 MAXENT 模型预测齿裂大戟在中国的潜在分布区. 生物安全学报, 24(3): 194–200.
- 朱耿平, 原雪姣, 范靖宇, 王梦琳, 2018. MaxEnt 模型参数设置对其所模拟物种地理分布和生态位的影响——以茶翅蜡为例. 生物安全学报, 27(2): 118–123.
- BEN-DOV Y, 1993. *A systematic catalogue of the soft scale insects of the world (Homoptera: Coccoidea: Coccidae)*. Gainesville: Sandhill Crane Press.
- BODENHEIMER F S, 1944. Note on the Coccoidea of Iran, with description of new species. *Bulletin de la Société Foudader Dentomologie*, 28(13): 85–100.
- BROENNIMANN O, TREIER U A, MULLER-SCHARER H, THUILLER W, PETERSON A T, GUIBAN A, 2007. Evidence of climatic nicheshift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10(8): 701–709.
- DIXON A F G, 1977. Aphid ecology: life cycles, polymorphism, and population regulation. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 8(1): 329–353.
- ELITH J, GRAHAM C H, ANDERSON R P, 2010. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129–151.
- GILL N S, SANGERMANO F, 2016. Africanized honeybee habitat suitability: a comparison between models for southern Utah and southern California. *Applied Geography*, 76: 14–21.
- GIOVANELLI G R, HADDAD C F B, ALEXANDRINO J, 2008. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, 10(5): 585–590.
- GUIBAN A, ZIMMERMANN N E, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147–186.
- JAPOSHVILI G O, 2001. The parasitoid complex and population dynamics of the plum scale, *Sphaerolecanium prunastri* Fonscolombe in Georgia. *Entomologica*, 33: 403–406.
- KARACA I, JAPOSHVILI G, DEMIROZER O, 2003. The chalcid parasitoid complex (Hymenoptera: Chalcidoidea) associated with the globose scale (*Sphaerolecanium prunastri* Fonscolombe) (Hemiptera: Coccoidea) in Isparta Province, Turkey and some east European countries. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 110(5): 505–511.
- KFIR R, ROSEN D, 1980. Biological studies of *Microterys flavus* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae), a primary parasite of soft scales. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 43(2): 223–237.
- KOZÁR F, 1983. New and little-known scale-insect species from Yugoslavia (Homoptera: Coccoidea). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 29(1): 139–149.
- KOZÁR F, 1987. The probability of interspecific competitive situations in scale-insects (Homoptera: Coccoidea) interspecific competition of scale-insects. *Oecologia*, 73: 99–104.
- KOZÁR F, KONSTANTINOVA G M, AKMAN K, 1979. Dis-

tribution and density of scale insects (Homoptera: Coccoidea) on fruit plants in Turkey in 1976 (Survey of scale insect (Homoptera: Coccoidea) infestations in European orchards. *Acta Phytopathologica*, 14(11): 535–542.

KOZÁR F, OSTAFICHUK V G, 1987. New and little known scale-insects species from Moldavia (USSR) (Homoptera: Coccoidea). *Folia Entomologica Hungarica*, 48: 91–95.

KOZÁR F, ÖRDÖGH G, KOSZTARAB M P, 1977. New records to the Hungarian scale insect fauna (Homoptera: Coccoidea). *Folia Entomologica Hungarica*, 30: 69–75.

KOZÁR F, DROZDJÁK J, 1993. Data to the scale fauna (Homoptera: Coccoidea) of the Bükk National Park. *Folia Entomologica Hungarica*, 18: 105–113.

KOZÁR F, PALOUKIS S S, PAPADOPOULOS N, 1991. New scale insects (Homoptera: Coccoidea) in the Greek entomofauna. *Entomologia Hellenica*, 9: 63–68.

PELLIZZARI G, PORCELLI F, SELJAK G, 2011. Some additions to the scale insect fauna (Hemiptera: Coccoidea) of crete with a check list of the species known from the island. *Journal of Entomological and Acarological Research*, 43(3): 291–300.

PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.

SALEH A T, BASHEER A M, AIROUZ H A, 2019. First report of the coccid *Microterys hortulanus* (Hymenoptera: Encyrtidae) in Syria. *Arab Journal of Plant Protection*, 37(3): 286–291.

ÜLGENTÜRK S, CANAKCIOGLU H, 2004. Scale insect pests on ornamental plants in urban habitats in Turkey. *Journal of Pest Science*, 77(2): 79–84.

(责任编辑:郭莹)

(上接第 53 页)

赵捷, 韩骁, 石娟, 2017. 低温条件下松材线虫在中国的风险分布区预测. *生物安全学报*, 26(3): 191–198.

BETANCOURT A, LYONS E T, HOROHOV D W, 2015. Characterisation of the inflammatory cytokine response to antihelminthic treatment in ponies. *Equine Veterinary Journal*, 47(2): 240–244.

DUGUET T B, CHARVET C L, FORRESTER S G, WEVER C M, DENT J A, NEVEU C, BEECH R N, 2016. Recent duplication and functional divergence in parasitic nematode levamisole-sensitive acetylcholine receptors. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(7): e0004826.

MAHASETH T, KUZMINOV A, 2017. Potentiation of hydrogen peroxide toxicity: from catalase inhibition to stable DNA-iron complexes. *Mutation Research-Reviews in Mutation Research*, 773: 274–281.

THAPA S, LÜ M, XU H, 2017. Acetylcholinesterase: a primary target for drugs and insecticides. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 17: 1665–1676.

TURANI O, HERNANDO G, CORRADI J, BOUZAT C, 2018.

Activation of caenorhabditis elegans levamisole-sensitive and mammalian nicotinic receptors by the antiparasitic bephenum. *Molecular Pharmacology*, 94(5): 1270–1279.

VILELA V L R, FEITOSA T F, BRAGA F R, VIEIRA V D, LUCENA S C, ARAUJO J V, 2018. Control of sheep gastrointestinal nematodes using the combination of duddingtonia flagrans and levamisole hydrochloride 5. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*, 27(1): 27–32.

WANG Y, BRRANICKY R, NOË A, HEKIMI S, 2018. Superoxide dismutases: dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling. *Journal of Cell Biology*, 217(6): 1915–1928.

ZHANG P S, WAN Y M, ZHANG C, ZHAO R, SHA J, LI Y, LI T, REN B Z, 2019. Solubility and mixing thermodynamic properties of levamisole hydrochloride in twelve pure solvents at various temperatures. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 139(2): 105882.

(责任编辑:郭莹)