

烟草甲在我国的潜在地理分布^{*}

李 通^{1**} 王云明^{2***} 刘珏廷² 李学卫³
崔冰艺^{1,4} 秦誉嘉¹ 赵紫华^{1***}

(1. 中国农业大学植物保护学院植物生物安全系, 农业农村部植物检疫性有害生物监测防控重点实验室, 北京 100193; 2. 云南省烟草公司玉溪市公司, 玉溪 653100; 3. 云南省烟草公司丽江市公司, 丽江 674100; 4. 烟台文化旅游职业学院, 烟台 264003)

摘 要 【目的】预测当前及未来气候场景下烟草甲 *Lasioderrma serricornes* (Fabricius) 在我国的潜在地理分布, 阐述烟草甲与气候因子之间的关系, 为烟草甲的可持续治理提供理论基础。【方法】收集烟草甲的分布数据与气候数据, 采用 MaxEnt 模型进行潜在地理分布研究, 模拟烟草甲在当前与未来气候变化下的潜在地理分布的情况。【结果】最冷月的最低温度和最暖月的最高温度是影响烟草甲潜在地理分布的关键因素, 烟草甲的高度适生区集中在我国南方, 烟草甲的潜在地理分布未来有从北向南缩减的趋势。【结论】本研究筛选出了 6 个影响烟草甲的关键气候因子, 预测了其在当前及未来气候场景下在我国的潜在地理分布, 为烟草甲的绿色防控提供依据。

关键词 MaxEnt; 烟草甲; 分布; 气候变化; 潜在地理分布

Potential geographical distribution of *Lasioderrma serricornes* (Fabricius) in China

LI Tong^{1**} WANG Yun-Ming^{2***} LIU Jue-Ting² LI Xue-Wei³
CUI Bing-Yi^{1,4} QIN Yu-Jia¹ ZHAO Zi-Hua^{1***}

(1. MARA Key Laboratory of Surveillance and Management for Plant Quarantine Pests, Department of Plant Biosecurity, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Yuxi Branch of Yunnan Provincial Tobacco Company, Yuxi 653100, China; 3. Lijiang Branch of Yunnan Provincial Tobacco Company, Lijiang 674100, China; 4. Yantai Vocational College of Culture and Tourism, Yantai 264003, China)

Abstract 【Aim】To predict the potential geographic distribution of *Lasioderrma serricornes*, under current and future climate scenarios in China, thereby elucidating the relationship between *L. serricornes* and climate factors to provide a theoretical basis for the sustainable management of this pest. 【Methods】Data on the distribution of *L. serricornes* and climate data were collected and the MaxEnt model was utilized to simulate the potential geographic distribution of *L. serricornes* under current and future climate change scenarios. 【Results】The minimum temperature of the coldest month and the maximum temperature of the warmest month were found to be key factors influencing the potential geographic distribution of *L. serricornes*. The most suitable regions for *L. serricornes* are concentrated in southern China, and its geographic distribution is predicted to trend from north to south in the future. 【Conclusion】This study identified six key climate factors that affect the distribution of *L. serricornes* and predicts potential geographic distribution of *L. serricornes* in China. These findings provide a reference for the prevention and control of *L. serricornes* in a changing climate.

Key words MaxEnt; *Lasioderrma serricornes*; distribution; climate change; potential geographic distribution

*资助项目 Supported projects: 中国烟草总公司云南省公司科技计划重大项目 (2022530000241021); 北京市自然科学基金 (6232023)

**第一作者 First author, E-mail: islitong@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: 1450759161@qq.com; zhzhao@cau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-10-17; 接受日期 Accepted: 2023-09-27

烟草甲 *Lasioderrma serricornis* (Fabricius) 为鞘翅目窃蠹科害虫, 该虫食性广泛, 可蛀食烟草、茶叶、禾谷、豆类和油料作物等(王方晓等, 1998)。烟草甲原产于南美洲, 现在世界各地广泛分布, 在我国的山东、广西、河南等地均有分布, 其成虫产卵于烟叶间、叶脉凹陷处和烟屑中, 每头雌虫产卵约 60 粒, 年世代数 3 代左右, 烟草储藏时间越长, 烟草甲危害越严重(马继盛等, 2007)。烟草是我国重要的经济作物之一, 根据国家统计局和农业农村部农垦局的数据, 我国在 2021 全年实现工业总产值 11 288.35 亿元, 烟草制品业产值 751.48 亿元排在第三, 烟叶的产量为 212.76 万吨。烟草行业包括种植、运输、加工、储存和销售的环节, 每一个环节都可能面临仓储害虫的危害。烟草加工过程需将烟叶在仓库内醇化 2 到 3 年, 醇化期间面临着烟草甲的巨大威胁, 并且随着储存时间的延长, 烟草甲为害急剧扩大(李朝晖等, 2021)。据调查, 仅两湖地区因虫蛀每年损失的烟叶价值百万元以上(赵红等, 2006), 我国烟草行业在存储过程中受到害虫为害的烟叶损失约每年 3 万吨(7 500 万元)左右(罗云等, 2021)。

最大熵模型(Maximum entropy model, MaxEnt)是利用已知的物种空间分布数据和相关的环境气候变量, 进行分布数据和气候数据的相关性分析, 然后利用环境变量计算一定生态位约束条件下物种分布的最理想状态, 即熵最大时的可能分布情况的一种模型(Phillips *et al.*, 2006)。MaxEnt 模型具有精度高、可靠性好、稳定和快速等优点, 目前已经在外来物种入侵、濒危生物适生区预测、自然灾害易发性评价等领域得到了广泛应用(朱耿平等, 2012; Arthur *et al.*, 2019; 赵健等, 2019; 班梦梦等, 2022; Gonçalves-Oliveira *et al.*, 2022; 钱天陆等, 2022; 王成武和刘新, 2022; 杨洪等, 2022)。

烟草甲的寄主多种多样, 而在我国的分布适生程度还并不清楚, 因此本研究基于 MaxEnt 模型并利用烟草甲的分布数据与相关气候变量对烟草甲进行潜在地理分布的预测, 模拟烟草甲的潜在地理分布, 力求为烟草甲的防控提供一定的理论基础, 也能为农业相关部门开展入侵物种监

测防控提供依据(赵紫华等, 2021, 2023)。

1 材料与方法

1.1 烟草甲地理分布数据和气候数据

地理分布数据: 烟草甲的地理分布数据来源于 GBIF (Global biodiversity information facility)。

气候数据: 历史数据和未来气候数据均来源于 WorldClim (<https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>), 含有 19 个具有生物学意义的气候变量, 其中历史数据是其获得的 1970 至 2000 年的 5 min 精度数据集, 未来时期(2041 至 2060 年)数据采用 IPCC 发布的共享社会经济路径气候情景中的 SSP126 和 SSP585 两种情景(魏鹏等, 2022)。

地图数据: 中国标准地图(比例尺为 1:14 000 000)来源于中华人民共和国自然资源部官网(<http://mnr.gov.cn/>)。

软件: 对烟草甲的 MaxEnt 模型构建使用 MaxEnt3.4.4k 软件。烟草甲相关气候变量和分布数据处理通过 ArcGIS 10.8 软件和 SPSS 软件(中国农业大学植物检疫与入侵生物学实验室购买), 烟草甲的 MaxEnt 模型参数调整通过 R4.1.2 软件(<https://cran.r-project.org/>)。

1.2 变量筛选

1.2.1 分布数据与气候变量的筛选 首先对烟草甲坐标错误或标本材料等情况的错误分布数据进行清理, 随后将烟草甲分布数据与气候变量调整到相同空间精度(5 min), 以降低取样偏差。最终得到了烟草甲在美国、加拿大、墨西哥、哥伦比亚、西班牙、法国、英国、瑞士、荷兰、德国、瑞典及芬兰等国家和地区的 539 个分布点数据。

在 ArcGIS 10.8 软件中对全部气候变量和烟草甲的分布数据采样。随后在 SPSS 软件通过因子分析和相关性分析筛选用于建立烟草甲 MaxEnt 模型的气候变量。在 Pearson 相关性大于 0.8 的变量中保留其中贡献率更高的一个(方焱等, 2022)。

1.2.2 利用 R 语言 ENMeval 包进行参数调整

因 MaxEnt 模型对采样偏差较为敏感且易产生过度拟合, 直接运行 MaxEnt 模型的默认参数或许会造成预测结果不可靠。所以使用 R 包 ENMeval 对烟草甲 MaxEnt 模型进行特征组合的选择和调控倍频的调整。

在 Rstudio 中下载并载入以下 R 包: sp、raster、dismo、rJava、magrittr 和 ENMeval, 随后导入经纬度数据文件和 tiff 格式的环境变量, 调用函数进行分析, 在结果中查看 delta.AIcc 值为 0 的组合, 即所需的调控倍频与特征组合。本研究参数设置调控倍频为 2.5, 特征组合为 LQH(Linear features、Quadratic features 和 Hinge features)。

1.3 模型预测

1.3.1 模型运行 将处理后的烟草甲分布数据按照物种名、纬度、经度 3 列的顺序保存为*.csv 格式, 与 1.2.1 中筛选出的关键气候变量一同导入 MaxEnt3.4.4k 软件。在烟草甲分布数据中, 选取 25% 为测试集, 其余作为训练集, 同时设置 10 percentile training presence 作为训练集的阈值。设置烟草甲 MaxEnt 模型以 Subsample 类型重复运行 10 次, 每次运行的最大迭代次数设为 5 000, 并使用刀切法评估气候变量重要性(秦誉嘉等, 2019)。在 ArcGIS 中利用自然间断法对烟草甲的适生区进行分级。

1.3.2 模型的精度检验 根据 ROC 曲线的 AUC 值(area under curve, AUC)对模型进行评估。AUC 值是预测模型精度的关键参数, 当 AUC 值在 0.00-0.50 间时, 表示预测模型的预测准确性并不优于随机模型, 当 AUC 在 0.50-0.80 间时, 表示预测模型的预测准确性一般, 当 AUC 在 0.80-0.90 间时, 表示预测模型的预测准确性中等, 当 AUC 在大于 0.90 时, 表示预测模型的预测准确性非常好(王运生等, 2007; 张源等, 2021)。

2 结果与分析

2.1 关键气候变量筛选结果

通过筛选分析, 得到影响烟草甲的关键气候变量有 6 个, 分别为最冷月最低气温 BIO6、最暖月最高气温 BIO5、气温季节性 BIO4、最暖季度平均气温 BIO10、最冷季度平均气温 BIO11、最干旱季度平均气温 BIO9, 贡献率分别为 67.4%、22.8%、7.4%、1.2%、0.8% 和 0.4%。根据刀切法的结果表明, “With only variable” 项得分较高的有 BIO11、BIO9 和 BIO6。表示这些变量有较好的预测能力。“Without variable” 项得分最低的是 BIO4, 说明对物种分布产生了较多独特的影响(图 1)。

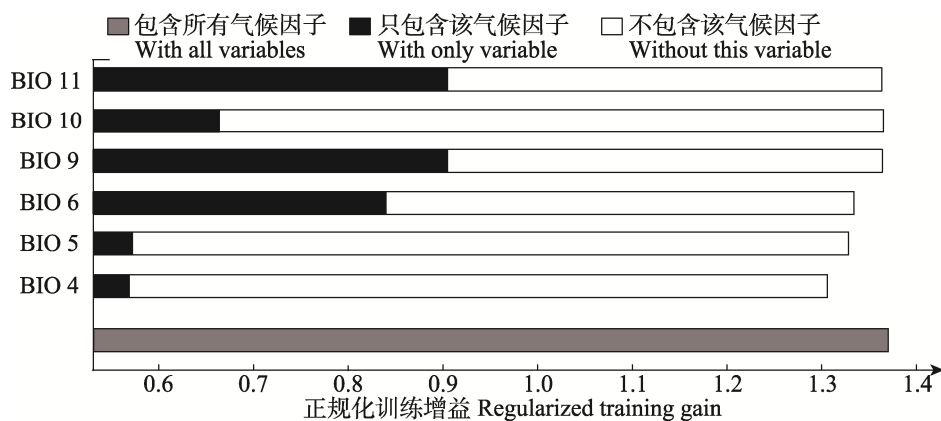


图 1 影响烟草甲分布气候变量的贡献率

Fig. 1 Contribution rates of bioclimatic variables to the distribution of *Lasioderma serricorne*

BIO4: 气温季节性; BIO5: 最暖月最高气温; BIO6: 最冷月最低气温; BIO9: 最干旱季度平均气温;

BIO10: 最暖季度平均气温; BIO11: 最冷季度平均气温。

BIO4: Temperature seasonality; BIO5: Max temperature of warmest month; BIO6: Minimum temperature of coldest month;

BIO9: Mean temperature of driest quarter; BIO10: Mean temperature of warmest quarter;

BIO11: Mean temperature of coldest quarter.

2.2 当前气候下烟草甲在我国的潜在地理分布

通过 MaxEnt 模型模拟出烟草甲在我国的潜在地理分布见图 2。其高度适生区包括广西、广东东部、福建东部、浙江东部、贵州、湖南南部、香港、重庆、四川东部、台湾、西藏南部、海南、甘肃南部、安徽中部、云南和陕西南部，主要分布在我国西南区域。烟草甲的中度适生区包括上海、广东北部、湖南、江西、河南南部、云南西南部、湖北东部、广西东北部、福建西部、浙江西部、安徽、山东东部、江苏、陕西中部和甘肃中部，主要分布在我国东南地区。烟草甲的低度适生区包括新疆西部、西藏西部、青海中部、甘肃中部、宁夏南部、陕西中部、山西南部、河北南部和东部、北京和辽宁南部，主要分布在我国华东南部和华东北部。

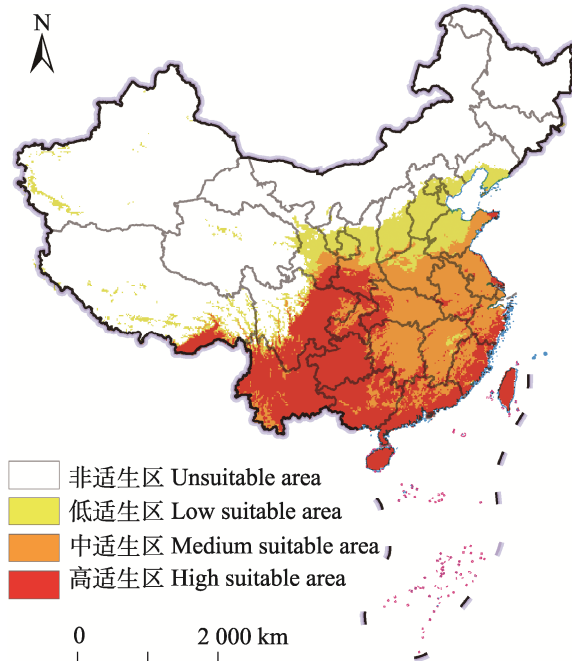


图 2 当前气候条件下烟草甲在我国的潜在地理分布
【审图号：京审字（2024G 第 0855）号】

Fig. 2 The potential geographical distribution of *Lasioderma serricorne* in China under present climate condition

2.3 未来气候变化背景下烟草甲在我国的潜在地理分布

在 SSP126 和 SSP585 两种情景下, MaxEnt 模型模拟出 2050 年烟草甲在我国的潜在地理分

布见图 3 和图 4。在 SSP126 情景下, 烟草甲在我国的高度适生区有云南、贵州西南、西藏南部、

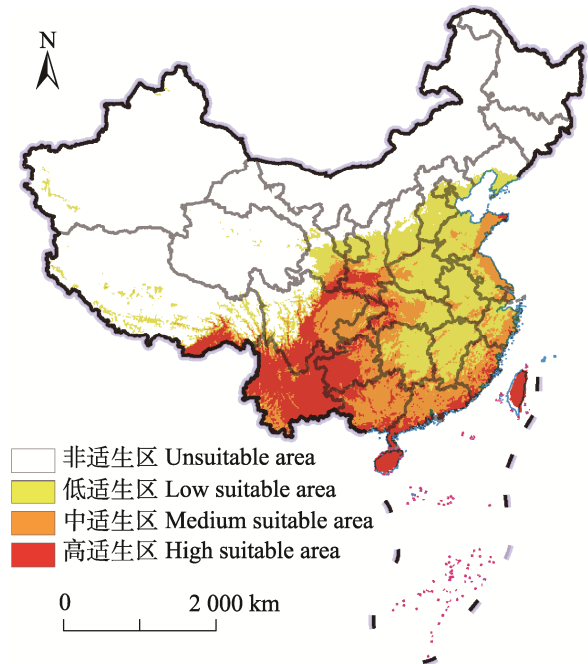


图 3 SSP126 情景下烟草甲在我国的潜在地理分布
【审图号：京审字（2024G 第 0855）号】

Fig. 3 Potential geographical distribution of *Lasioderma serricorne* in China under SSP126 scenario

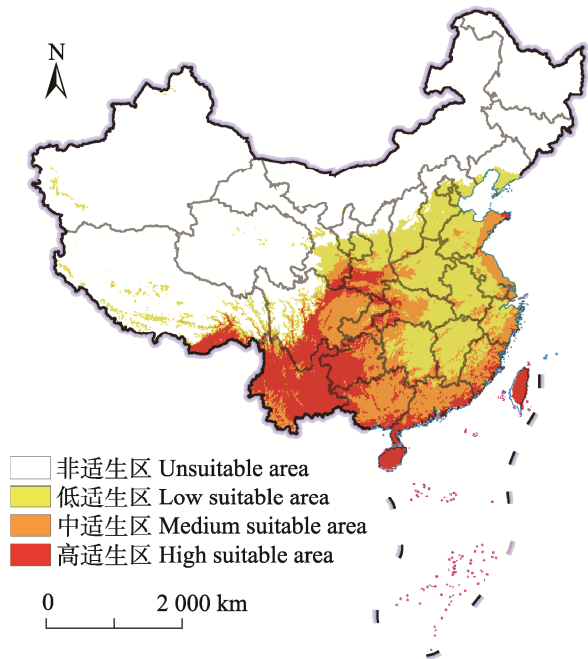


图 4 SSP585 情景下烟草甲在我国的潜在地理分布
【审图号：京审字（2024G 第 0855）号】

Fig. 4 Potential geographical distribution of *Lasioderma serricorne* in China under SSP126 scenario

四川南部和中部、重庆中部、广西南部、香港、广东南部、海南、福建东部、台湾和山东东部，高度适生区在 2050 年略有缩小。烟草甲的中度适生区有云南南部、上海、广西、广东、福建中部、贵州东部、四川东部、重庆西部、湖北西部、甘肃中部、陕西中部、山东东部和江苏东部。烟草甲的低度适生区包括河南、新疆西部、山东、西藏南部、安徽、四川中部、江西、甘肃中部、湖北东部、宁夏南部、北京、陕西南部、山西南部、河北南部、辽宁南部和湖南东部。

在 SSP585 情景下，烟草甲在我国的高度适生区有香港、海南南部、台湾、西藏南部、云南、四川南部、贵州西部、广西西部小部分、广东南部、福建东部、浙江南部、甘肃南部、陕西南部、重庆中部、湖北西部和山东东部。烟草甲的中度适生区有四川东部、山东东部、贵州东部、江苏、湖南西部、安徽东部、甘肃中部、上海、陕西南部、福建、广东、广西、云南南部、宁夏南部和海南中部。烟草甲的低度适生区有北京、新疆、山东西部、西藏南部、陕西北部、青海中部，甘肃北部、宁夏北部、山西、河北、辽宁南部、河南、安徽西部、湖北东部、江西、湖南东部和浙江西部。

2.4 MaxEnt 模型的精度评价

本次烟草甲 MaxEnt 模型的评价指标 AUC 值为 0.914 (图 5)，表明本次 MaxEnt 模型的预测效果非常好。

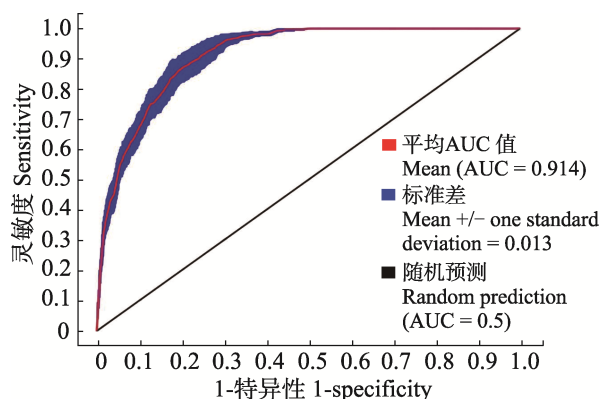


图5 烟草甲 MaxEnt 模型预测结果的 ROC 曲线及 AUC 值

Fig. 5 ROC curves of the *Lasioderma serricorne* MaxEnt model predicted results and AUC values

3 讨论

对于本研究构建的烟草甲 MaxEnt 模型来说，贡献率最高的气候变量是最冷月的最低气温和最暖月的最高气温，因此推测在烟草甲的扩散中，温度起着至关重要的作用。这一点和王秀芳等 (2010) 和吕建华等 (2014) 的研究结果一致，王秀芳等 (2010) 的实验结果表明，当温度降低到 15 °C 以下时，烟草甲幼虫停止活动，-20 °C 处理 1 h 或者零下 10 °C 处理 72 h，各种虫态均死亡；吕建华等 (2014) 的研究结果表明，高温处理可以作为一种有效的害虫防治方式运用到烟草甲的综合治理中。

本研究与前人的研究有一定差异，与侯沁文等 (2020) 的研究相比，MaxEnt 模型运行所选取的关键气候变量不同，侯沁文等 (2020) 在研究时，使用刀切法来分析气候变量，根据条带代表的贡献率来选取变量，没有考虑变量直接的共线性关系，而本研究利用 SPSS 软件进行 19 个气候变量的因子分析和相关性分析来选取变量，在模型运行后使用刀切法查看已选取变量的贡献率。本研究还进行了在 SSP126 和 SSP585 两种未来情景下的烟草甲潜在地理分布预测。

MaxEnt 是目前应用最广的生态位模型，通过气候变量和地理分布数据的结合，有着预测精度高的优点 (王兴亚等 2011; 张华峰, 2023)。同时，本研究检验模型精度所使用的 AUC 值，不受样本数据集和分类阈值的限制，是公认的最佳评价指标 (王云生等, 2007)。但本次研究有很多因素没有考虑到，比如日照情况、植被覆盖、地貌地形、水源情况、人类活动及管理影响和种间竞争等因素，烟草甲作为一种主要的仓储害虫之一，其分布情况会受到管理水平的影响，在今后的研究中应综合考虑这些因素来改进实验方法，提高研究的准确度和有效性。

在当前气候情景下，我国的香港、台湾、海南、云南、广西、广东、福建、浙江、贵州、湖南、重庆、四川、西藏、甘肃、安徽、山东和陕西等省 (直辖市、自治区) 存在烟草甲的高度适生区，其中青海和宁夏等少部分省 (自治区) 还

未有分布,需要进行对烟草甲的严格监控和防控(马继盛等, 2007)。而在未来气候数据两种情景下,烟草甲在我国的适生区面积均会减少。在 SSP126 情景下,高度适生区面积会减少,湖南将不再是高度适生区。在 SSP585 情景下,适生区面积会进一步缩小,并且海南与台湾的部分高度适生区会转变为中度适生区。烟草甲的潜在地理分布为防控技术提供重要的依据,也为烟草甲的风险防控提供理论支持(赵紫华等, 2019)。

参考文献 (References)

- Arthur FH, Morrison WR, Morey AC, 2019. Modeling the potential range expansion of larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *Scientific Reports*, 9: 6862.
- Ban MM, Zhang DY, Fan ZY, Yu BB, Yang L, Zeng YD, 2022. Habitat suitability study of *Amomum villosum* based on MaxEnt model and ArcGIS. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2022(6): 1344–1348. [班梦梦, 张丹雁, 范紫颖, 于兵兵, 杨丽, 曾业达, 2022. 基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 的阳春砂生态适宜性研究. *中药材*, 2022(6): 1344–1348.]
- Fang Y, Ma C, Yang F, Zhao SQ, Zhu JQ, Liu H, Ma J, Yang DG, Li ZH, Kang FF, 2022. Prediction of the potential geographic distribution of *Spodoptera ornithogalli* in China based on MaxEnt model. *Journal of Plant Protection*, 49(5): 1417–1423. [方焱, 马晨, 杨菲, 赵守歧, 朱景全, 刘慧, 马健, 杨东果, 李志红, 康芬芬, 2022. 基于 MaxEnt 模型预测黄条灰翅夜蛾在中国的潜在地理分布. *植物保护学报*, 49(5): 1417–1423.]
- Gong XW, Meng GL, Li CR, 1995. New progress in *Lasioderma serricorne* research. *Journal of Hubei Agricultural College*, 15(3): 235–240. [龚信文, 孟国玲, 李传仁, 1995. 烟草甲研究新进展. *湖北农学院学报*, 15(3): 235–240.]
- Gonçalves-Oliveira RC, Rodrigues HB, Benko-Iseppon AM, 2022. Range distribution of the invasive alien species *Calotropis procera* in South America dry environments under climatic change scenarios. *Journal of Arid Environments*, 205: 104819.
- Hou QW, Yu CL, Zhou X, 2020. Prediction and analysis of suitable habitat of *Codonopsis rhizophora* in China based on Maxent model. *Journal of Changzhi College*, 37(2): 6–9. [侯沁文, 于成龙, 周旭, 2020. 基于 Maxent 模型对党参害虫烟草甲在中国的适生区预测分析. *长治学院学报*, 37(2): 6–9.]
- Li ZH, Xu Q, Cai JW, Wang ZY, Li JW, Xiong YN, 2021. Research progress on the prevention and control of *Lasioderma serricorne*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 49(7): 33–43. [李朝晖, 许侨, 蔡京伟, 王泽宇, 李加伟, 熊亚南, 2021. 烟草甲的防治研究进展. *江苏农业科学*, 49(7): 33–43.]
- Luo Y, Chen B, Guo SK, Yang YP, Yang L, Yuan CY, Zhou JL, Xu XY, 2021. The progress of control technology on tobacco storage pests. *Journal of Kunming University*, 43(16): 19–23. [罗云, 陈斌, 郭绍坤, 杨延鹏, 杨磊, 袁存裕, 周继来, 徐兴阳, 2021. 烟叶仓储害虫综合治理研究进展. *昆明学院学报*, 43(16): 19–23.]
- Lv JH, Zhong JJ, Zhang HN, Ma D, Su XH, Du YG, 2014. Lethal effect of different high temperature treatments on different development stages of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Agricultural Catastrophology*, 4(3): 15–17, 20. [吕建华, 钟建军, 张会娜, 马丹, 苏新宏, 杜阅光, 2014. 高温处理对烟草甲各虫态的致死作用研究. *农业灾害研究*, 4(3): 15–17, 20.]
- Ma JS, Si SL, An SH, Hua BZ, Yang XY, 2007. Chinese Tobacco Insect. Beijing: Science Press. 34. [马继盛, 司胜利, 安世恒, 花保祯, 杨效文, 2007. 中国烟草昆虫. 北京: 科学出版社. 34.]
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecological Modelling*, 190(3/4): 231–259.
- Qian TL, Qin SJ, Wu ZN, Xi CB, Wang JC, 2022. Impacts of human interference on the potential distribution of Yunnan snub-nosed monkeys by MaxEnt model. *Acta Theriologica Sinica*, 42(4): 349–361. [钱天陆, 秦淑洁, 吴朝宁, 席唱白, 王结臣, 2022. 基于 MaxEnt 模型的人类干扰对滇金丝猴潜在分布的影响. *兽类学报*, 42(4): 349–361.]
- Qin YJ, Lan S, Zhao ZH, Sun HY, Zhu XM, Yang PY, Li ZH, 2019. Potential geographical distribution of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 45(4): 43–47, 60. [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红, 2019. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. *植物保护*, 45(4): 43–47, 60.]
- Wang CW, Liu X, 2022. Assessment on landslide susceptibility in sichuan based on Maxent model. *Journal of Hebei Geo University*, 45(2): 81–86. [王成武, 刘新, 2022. 基于 Maxent 的四川省滑坡易发性评价. *河北地质大学学报*, 45(2): 81–86.]
- Wang FX, Wei CS, Feng XM, 1998. Studies on *Lasioderma serricorne*. *Chinese Tobacco Science*, 1998(2): 45–47. [王方晓, 魏重生, 冯小明, 1998. 烟草甲的研究. *中国烟草科学*, 1998(2): 45–47.]
- Wang XF, Ren GW, Zhou XS, Wang XW, Chen D, Li SB, 2010. The effect of low temperature on *Lasioderma serricorne* (Fabricius). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 25(S1): 287–289. [王秀芳, 任广伟, 周显升, 王新伟, 陈丹, 李世博, 2010. 低温对不同虫态烟草甲的影响. *华北农学报*, 25(S1): 287–289.]
- Wang XY, Jiang CT, Xu GQ, 2011. Potential distribution of an

- invasive pest, *Eriosoma lanigerum* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 379–391. [王兴亚, 蒋春廷, 许国庆, 2011. 外来入侵种——苹果绵蚜在中国的适生区预测. 应用昆虫学报, 48(2): 379–391.]
- Wang YS, Xie BY, Wan FH, Xiao QM, Dai LY, 2007. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models. *Biodiversity Science*, 15(4): 365–372. [王运生, 谢丙炎, 万方, 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.]
- Wei P, Zhang Y, He JY, Zhou T, Liu H, Qin YJ, Zhao SQ, Fan ZF, Li ZH, 2022. Potential geographic distribution of maize chlorotic mottle virus under climate changes based on MaxEnt model. *Journal of Plant Protection*, 49(5): 1367–1376. [魏鹏, 张源, 何佳遥, 周涛, 刘慧, 秦誉嘉, 赵守歧, 范在丰, 李志红, 2022. 基于 MaxEnt 模型分析气候变化下玉米褪绿斑驳病毒的潜在地理分布. 植物保护学报, 49(5): 1367–1376.]
- Yang H, Yi W, Qu JL, Qin X, Chen LM, Zhou GB, Chen Y, 2022. Discussion on influence of river on *Ageratina adenophora* invasion based on Maxent model. *Journal of Weeds*, 40(1): 8–19. [杨洪, 易文, 瞿佳利, 秦霞, 谌利民, 周国兵, 陈艳, 2022. 基于 Maxent 模型探讨河流对紫茎泽兰入侵的影响. 杂草学报, 40(1): 8–19.]
- Zhao J, Li ZP, Zhang HW, Chen H, Weng QY, 2019. Prediction of potential distribution of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in China based on MaxEnt niche model and GIS. *Journal of Plant Protection*, 46(6): 1292–1300. [赵健, 李志鹏, 张华伟, 陈宏, 翁启勇, 2019. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 技术的烟粉虱适生区预测. 植物保护学报, 46(6): 1292–1300.]
- Zhao H, Xue D, Yang CJ, 2006. Occurrence and comprehensive control technology of smoke storage pests. *Hubei Plant Protection*, 2006(1): 13–16. [赵红, 薛东, 杨长举, 2006. 贮烟害虫的发生及综合防治技术. 湖北植保, 2006 (1): 13–16.]
- Zhao ZH, Su M, Li ZH, Hui C, 2019. Invasion ecology of alien species. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 1–5. [赵紫华, 苏敏, 李志红, 惠苍, 2019. 外来物种入侵生态学. 植物保护学报, 46(1): 1–5.]
- Zhao ZH, Ma JH, Gao F, Zhang R, 2021. Systematic strategy of ecologically based pest management of insect pest population at landscape scales. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(5): 855–862. [赵紫华, 马建华, 高峰, 张蓉, 2021. 害虫种群区域性生态调控的系统策略. 中国生物防治学报, 37(5): 855–862.]
- Zhao ZH, Wu PS, Xu YJ, Shi J, Liu WX, 2023. Proactive prevention and management for controlling invasive alien species. *Journal of Plant Protection*, 50(6): 1379–1387. [赵紫华, 吴品珊, 许益鏊, 石娟, 刘万学, 2023. 外来入侵物种精准防控的主动性策略. 2023. 植物保护学报, 50(6): 1379–1387.]
- Zhang HF, 2023. Predicting the future distribution of *Pantana phyllostachysae* in China in a changing climate. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(3): 934–955. [张华峰, 2023. 气候变化情景下刚竹毒蛾在中国适生区预测分析. 应用昆虫学报, 60(3): 934–955.]
- Zhang Y, Qin YJ, Zhao ZH, Tu XB, Zhang ZH, Li ZH, 2021. The potential geographical distribution of desert locust in China. *Journal of Plant Protection*, 48(1): 90–95. [张源, 秦誉嘉, 赵紫华, 涂雄兵, 张泽华, 李志红, 2021. 沙漠蝗在中国的潜在地理分布. 植物保护学报, 48(1): 90–95.]
- Zhu GP, Wang XJ, Liu GQ, Bu WJ, 2012. Potential distribution of sycamore lace bug, *Corythucha ciliate* in China (Hemiptera: Tingidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1652–1658. [朱耿平, 王晓静, 刘国卿, 卜文俊, 2012. 悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析. 应用昆虫学报, 49(6): 1652–1658.]