

引用格式:

杨艺帅, 杨学宇, 王玉生, 胡秋龙, 史子涵, 吉进军, 廖尹俊, 谭琳. 气候变化背景下茶角胸叶甲潜在适生区预测[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(5): 581–587.

YANG Y S, YANG X Y, WANG Y S, HU Q L, SHI Z H, JI J J, LIAO Y J, TAN L. Prediction of the potential adaptive areas of *Basilepta melanopus* under climate change scenarios[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(5): 581–587.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



气候变化背景下茶角胸叶甲潜在适生区预测

杨艺帅¹, 杨学宇^{2,3}, 王玉生¹, 胡秋龙^{2,3}, 史子涵¹, 吉进军⁴, 廖尹俊⁵, 谭琳^{1*}

(1.湖南农业大学植物保护学院, 湖南 长沙 410128; 2.茶学教育部重点实验室, 湖南 长沙 410128; 3.湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙 410128; 4.湖南省茶业集团股份有限公司, 湖南 长沙 410126; 5.东北大学江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 基于茶角胸叶甲(*Basilepta melanopus* Lefèvre)截至 2020 年底的 63 个有效分布点和 22 个环境变量, 分析筛选出影响茶角胸叶甲分布的 8 个重要环境变量, 利用最大熵模型(MaxEnt)和 ArcGIS 软件, 对茶角胸叶甲 2021—2100 年气候条件下的适生区进行预测。结果表明: MaxEnt 模型的受试者工作曲线面积(AUC)达 0.992; 在目前气候条件下, 茶角胸叶甲潜在的适生区总面积为 $6.69 \times 10^5 \text{ km}^2$, 主要位于中国南部和东南部地区, 除已报道发生过的地区外, 还包括湖北、安徽、浙江、江苏和台湾; 影响茶角胸叶甲潜在适生区分布的重要环境因子主要包括最冷季降水量、坡向和平均气温年较差, 其中最冷季降水量是影响茶角胸叶甲潜在适生区分布范围的最关键环境变量; 在 SSP126 和 SSP245 情景下, 茶角胸叶甲的总适生区面积在 2061—2080 年间达到峰值后下降; 在 SSP370 情景下, 茶角胸叶甲的总适生区面积在 2041—2060 年间达到峰值后下降; 在 SSP585 情景下, 茶角胸叶甲总适生区面积持续上升。总体来看, 茶角胸叶甲的适生区中心主要向西、向北和高纬度等内陆地区转移。

关 键 词: 茶角胸叶甲; 最大熵模型; 适生区预测; 气候变化情景

中图分类号: Q969.48

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)05-0581-07

Prediction of the potential adaptive areas of *Basilepta melanopus* under climate change scenarios

YANG Yishuai¹, YANG Xueyu^{2,3}, WANG Yusheng¹, HU Qiulong^{2,3}, SHI Zihan¹, JI Jinjun⁴, LIAO Yinjun⁵, TAN Lin^{1*}

(1.College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Key Laboratory of Tea Science of Ministry of Education, Changsha, Hunan 410128, China; 3.College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Hunan Tea Group Corporation Limited, Changsha, Hunan 410126, China; 5.JangHo Architecture, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China)

Abstract: By the end of 2020, based on 63 effective distribution records of the *Basilepta melanopus*(*B. melanopus*) in China and 22 environmental variables, eight environmental limiting factors affecting the distribution of *B. melanopus* were determined. The MaxEnt model and ArcGIS software were used to predict the potential adaptive areas of *B. melanopus* (from 2021 to 2100) under current and future climatic conditions in China. The results show that the receiver operating curve area (AUC) is 0.992 in MaxEnt model. At present climate conditions, the total area of adaptive area is $6.69 \times 10^5 \text{ km}^2$, mainly located in the south and southeast of China. Besides the areas that had been infected by *B. melanopus*, its adaptive region includes Hubei, Anhui, Zhejiang, Jiangsu, and Taiwan provinces. The main environmental factors affecting the potential geographical distribution range of *B. melanopus* were precipitation of the coldest quarter,

收稿日期: 2023-03-31

修回日期: 2023-08-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0202006-04)

作者简介: 杨艺帅(1999—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, 519414001@qq.com; *通信作者, 谭琳, 博士, 副教授, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, hqtlntanlin@163.com

slope, and annual range of mean temperature. The precipitation of the coldest quarter was the most critical environmental variable affecting the potential adaptive areas range of *B. melanopus*. In scenarios SSP126 and SSP245, the total adaptive area of *B. melanopus* peaks between 2061 and 2080 and then declines. In scenario SSP370, the total adaptive area of *B. melanopus* peaks between 2041 and 2060 and then declines. However, in scenario SSP585, the total adaptive area of *B. melanopus* increases insistently. Overall, the center of adaptive areas predominantly shifts towards western, northern, and high-latitude inland areas.

Keywords: *Basilepta melanopus*; maximum entropy model(MaxEnt); adaptive area prediction; climate change scenarios

茶角胸叶甲(*Basilepta melanopus* Lefèvre), 又名黑足角胸叶甲^[1], 属鞘翅目(Coleoptera)肖叶甲科(Eumolpidae), 成虫取食茶树、油茶的嫩梢和芽叶, 幼虫在土下取食根系^[2]。自 20 世纪 80 年代局部成灾以来, 该虫不仅在南方茶区为害, 且有迅速向北扩散的趋势^[3-4]。以湖南为例, 该虫最初仅在湖南郴州茶区为害^[3], 但近年来在除湘西以外的全省境内均有为害的报道^[5]。另因其虫口密度高^[4], 造成经济损失大^[6], 现已成为茶产业发展的隐患。茶角胸叶甲在南方茶区一年发生一代, 以幼虫在 5~10 cm 的表土层中越冬^[7]。各地区的成虫发生、为害盛期略有不同, 如在广东和福建以 4 月下旬至 5 月中旬为盛^[1,8], 而在湖南和江西则以 5 月中旬至 6 月中旬为盛^[1,3]。茶角胸叶甲的发生与茶园降水量、温度、相对湿度、坡向、海拔高度等密切相关。朱来佳^[9]研究发现, 昭平县茶角胸叶甲为害加重与降水量的增加密切相关。谭济才等^[3]研究发现, 温度对茶角胸叶甲发生时间有明显影响, 相对湿度则影响其化蛹率和羽化率, 东南向茶园的发生量比西北向茶园的大。谢振伦等^[8]报道, 山地及海拔较高的茶园茶角胸叶甲发生较重。由于茶角胸叶甲的 3 个虫态生活在土壤中, 随着茶树种植面积的不断扩大, 跨地区调运茶苗频繁, 茶苗带虫土调运时均存在扩散的风险, 加之潜在发生区域较少, 给该虫的监测与防治带来困难; 因此, 预测茶角胸叶甲的潜在分布区, 明确影响其分布的主要因素至关重要。

唐继洪等^[10]运用 2041—2080 年的气候预测数据, 通过最大熵模型(MaxEnt)^[11]对草地螟(*Loxostege sticticalis*)的越冬区进行了预测, 认为草地螟越冬场所将会扩大和北移。尹辉等^[12]结合人类活动干扰, 运用 MaxEnt 模型预测了 2021—2100 年骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap.)的分布格局变化, 认为骆驼

刺在西北干旱区生存并扩张。姜明鑫等^[13]利用 MaxEnt 模型预测茶小绿叶蝉(*Empoasca onukii* Matsuda)的潜在适生区, 结果表明, 茶小绿叶蝉潜在适生区面积呈扩大趋势。

以往有关茶角胸叶甲的研究多集中于其生物学特性与防治实践^[3,14], 尚无其潜在适生区分布的研究。笔者收集茶角胸叶甲发生信息和气候变化资料, 采用 ArcGIS 软件提取地形数据^[15], 导入 MaxEnt 模型, 用以预测目前和 2021—2100 年气候变化条件下茶角胸叶甲各级适生区面积和中心点的变化, 以期茶角胸叶甲的监测、科学防治以及跨地域苗木调运管理提供依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

综合统计已有文献^[8-9, 16], 截至 2020 年底, 茶角胸叶甲已在福建、广东、广西、贵州、湖南、江西等 6 省(自治区)37 个县市(表 1)发生、为害。结合实地调查情况, 剔除重复报道和无效数据后, 最终得到 63 处茶角胸叶甲的有效分布点信息。

表 1 茶角胸叶甲的分布

Table 1 Distribution of *Basilepta melanopus*

省份	市(县)
福建	武夷山市、建瓯市、邵武市、南平市、清流县、长汀县
广东	乐昌市、潮州市、英德市、连州市、韶关市、怀集县、东源县、陆河县、阳山县、连山县
广西	昭平县
贵州	安龙县
湖南	郴州市、永州市、宁乡市、浏阳市、耒阳市、常宁市、安仁县、茶陵县、临武县、嘉禾县、永兴县、桂东县、长沙县
江西	宜春市、分宜县、修水县、崇义县、万载县、上犹县

环境数据均来源于世界气候数据库(<https://worldclim.org/>), 其中 2021—2040 年、2041—2060 年、2061—2080 年、2081—2100 年气候数据选取

的是由国家气候中心研究开发的 BCC-CSM2-MR 气候系统模式^[17]中的 4 种共享社会经济路径(SSPs)情景,该情景是在典型浓度路径的基础上发展而来的,用以反映社会经济发展与气候情景之间关联的情景框架^[18-19],包括 SSP126、SSP245、SSP370、SSP585^[15]。这 4 种路径分别是假定 2100 年辐射强迫稳定在 2.6、4.5、7.0、8.5 W/m² 的情景^[20-21]。

地形数据通过 ArcGIS 10.4.1 软件从世界高程数据^[15]中提取获得,22 个环境数据分辨率均为 2.5'。

1.2 研究方法

由于选用的气候数据与地形数据的精度均为 2.5',每个 2.5'×2.5'的网格中只保留 1 个分布点^[22]用于 MaxEnt 模型的构建。

为避免过度拟合,对获取的环境变量数据进行 Pearson 相关性分析,当 2 项环境变量的相关系数≥0.8,即表现出较强的相关性时,舍去其中对茶角胸叶甲分布贡献率较小的环境变量,最终确定 8 个环境变量用于 MaxEnt 模型构建(表 2)。

表 2 构建 MaxEnt 模型的 8 个环境变量

Table 2 Names, codes, units and contributions of the eight environmental variables selected in this study

代号	环境变量	单位	贡献率/%	置换重要值/%
Bio19	最冷季降水量	mm	84.7	32.9
Aspect	坡向	—	3.4	5.1
Bio2	平均气温年较差	℃	3.2	3.9
Slope	坡度	(°)	3.2	1.5
Bio10	最热季平均温度	℃	2.9	9.9
Bio8	最湿季平均温度	℃	1.6	18.6
Altitude	海拔高度	m	0.6	6.7
Bio14	最干季降水量	mm	0.4	21.4

参照马世炎等^[22]和刘学琴等^[23]的方法,将茶角胸叶甲的分布数据、环境数据以及不同时间段的气候数据导入 MaxEnt3.4.1 模型后,选用刀切法对权重进行检验,设置受试者工作特征曲线(ROC),在“setting”中勾选“Random seed”,重复迭代类型,选取交叉验证的方法,重复 10 次,以此预测茶角胸叶甲的适生区分布。

参照吕汝丹等^[24]的方法,将茶甲胸叶甲适生区的预测结果以“Cloglog”格式和“asc”文件类型导出后,导入 ArcGIS 10.4.1,利用重分类命令中的自然

间断点分级法,将茶角胸叶甲分布的适宜度分为非适生区[0~0.10)、低度适生区[0.10~0.32)、中度适生区[0.32~0.62)、高度适生区[0.62~1.00] 4 个适生等级,得到茶角胸叶甲潜在适生区分布。

参照姜明鑫等^[13]的方法,采用 ROC 曲线对 MaxEnt 模型预测结果的精度进行评估,用 ROC 曲线下面积值(AUC)表示。AUC 值越大,表示选择的环境变量与预测的分布模型之间的相关性越大,与随机分布相距越远,预测结果也就越准确^[20, 25]。0.8≤AUC<0.9 时,模型拟合良好;0.9≤AUC<1.0 时模型拟合结果非常准确^[26]。

2 结果与分析

2.1 茶角胸叶甲的潜在适生区分布

将 63 个茶角胸叶甲的有效分布点的地理坐标导入 MaxEnt 模型,其 ROC 曲线(图 1)训练集的 AUC 值为 0.986,测试集的 AUC 值为 0.990。这说明利用 MaxEnt 模型对茶角胸叶甲适生区进行预测所得到的结果准确。

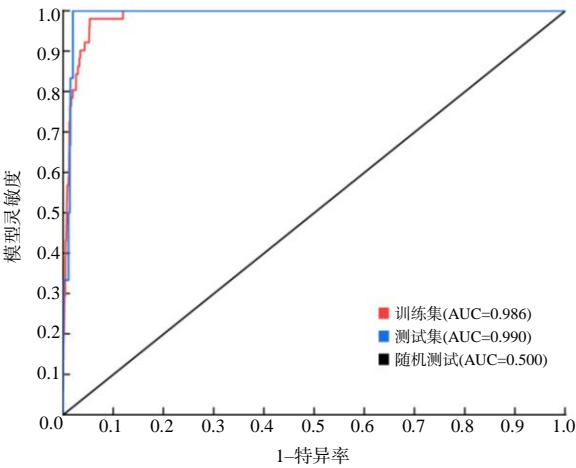


图 1 茶角胸叶甲 MaxEnt 模型的 ROC 曲线

Fig.1 ROC curve of Basilepta melanopus based on MaxEnt model

2.2 环境因子对茶角胸叶甲潜在适生区分布的影响

利用刀切法对 8 个环境变量进行分析,结果(图 2)表明:在仅考虑单一环境变量的情况下,对茶角胸叶甲分布增益值影响最大的 3 个环境变量大小依次为最冷季降水量、最干季降水量、平均气温年较差,说明这 3 个变量具有对茶角胸叶甲适生区模型预测最有价值的信息,即对茶角胸叶甲的分布影响

最大。海拔高度、最热季平均温度、最湿季平均温度增益值均在 0.8 以上,对茶角胸叶甲的分布也有较大贡献。当缺少坡向变量时,模型增益值减少最多,表明坡向对于茶角胸叶甲的分布具有其他变量所没有的信息,对模型预测结果的精确度具有无可替代的影响。

环境变量与物种存在概率之间的响应曲线能够反映环境变量与物种之间的关系。当茶角胸叶甲的存在概率大于 0.2 时,此时对应的环境变量值被认为是茶角胸叶甲开始发生的阈值。由图 3 可知,当平均气温年较差为 6.98 °C 时,茶角胸叶甲开始发生;气温年较差为 8.3 °C 时,最适其生存;当气温年较差达 9.5 °C 后,不适合茶角胸叶甲的生存。当最冷季降水量达到 141.0 mm 时,茶角胸叶甲发生为害;当最冷季降水量为 196.2 mm 时,最适其生存;当最冷季降水量超过 349.5 mm 时,不适茶角胸叶甲生存。坡度的上升对茶角胸叶甲的存在概率

有负面影响:茶角胸叶甲在各坡向均能存在,且西北坡(坡向赋值 292.5~337.5)最适其生存,其次为北坡(0~22.5, 337.5~360)和平地茶园(-1),其存在概率自北(0~22.5)向东北(22.5~67.5)到西北(292.5~337.5)逐步上升,自西北(292.5~337.5)向北(337.5~360)存在概率下降。

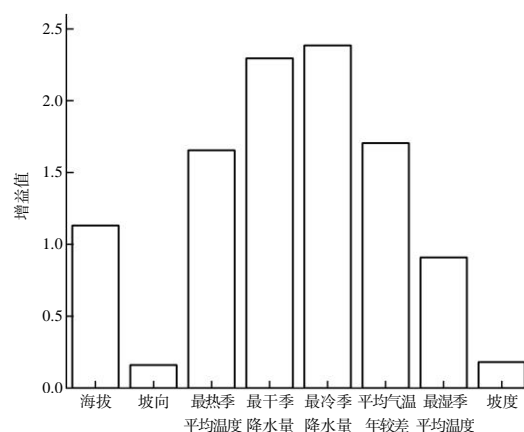


图 2 单一环境变量下正规化训练增益值

Fig.2 Regularized training gain with only environmental variable

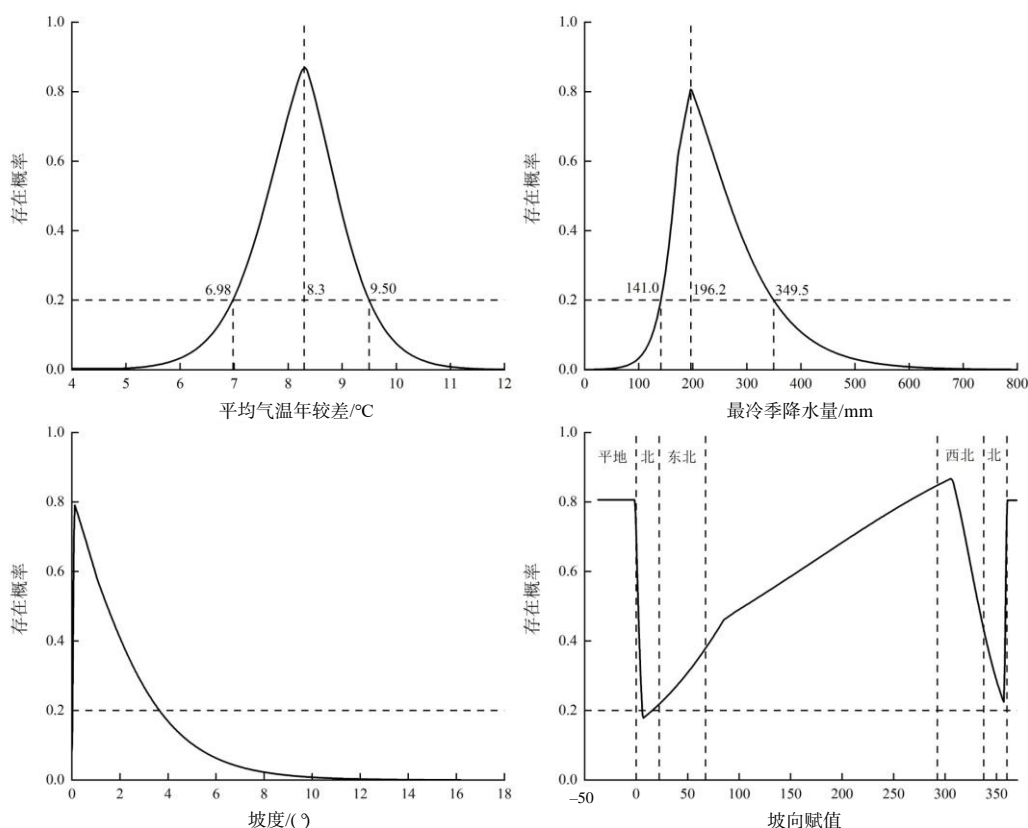


图 3 主要环境变量的响应曲线

Fig.3 Response curves of major environmental variables

2.3 2020 年气候条件下茶角胸叶甲适生区分布的预测

利用 MaxEnt 模型模拟茶角胸叶甲在目前气候条件下的潜在适生区分布。茶角胸叶甲的适生区总面积为 $6.69 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其中高适生区面积为 $1.41 \times 10^5 \text{ km}^2$, 主要分布在江西、湖南东部和南部、广西东北部、广东北部、福建中部和西南部茶区, 湖北、安徽、浙江有零星分布; 中适生区面积为 $1.93 \times 10^5 \text{ km}^2$, 主要分布在江西、浙江、湖南中部和西南部、广西东北部、广东北部、福建西部、湖北东部茶区, 安徽省内有零星分布; 低适生区面积为 $3.35 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。除上述茶区有分布外, 贵州、江苏和台湾茶区也有分布。

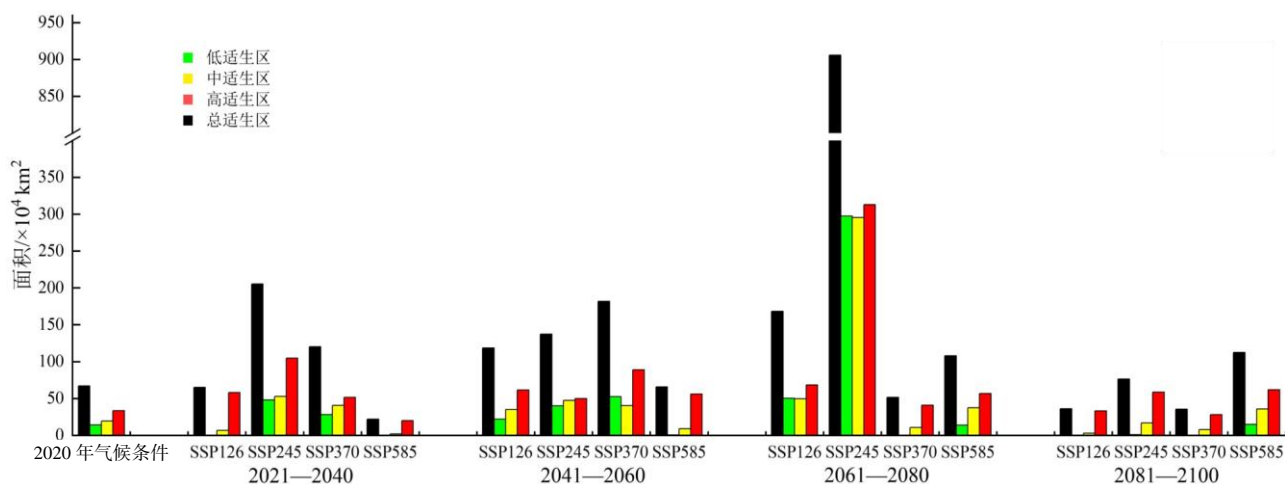


图 4 不同气候变化情景下茶角胸叶甲的适生区面积

Fig.4 Potential adaptive areas of *Basilepta melanopus* under different climate change scenarios and time periods

2021—2040 年、SSP585 情景下, 茶角胸叶甲总适生区面积减少至 $2.18 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是现有总适生区面积的 32.6%, 但在 2061—2080 年、SSP245 情景下, 总适生区面积达到 $9.059 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是现有总适生区面积的 13.6 倍。

2021—2040 年、SSP585 情景下, 茶角胸叶甲高适生区面积减少至 $4.00 \times 10^2 \text{ km}^2$, 是现有总适生区面积的 0.3%, 但在 2061—2080 年、SSP245 情景下, 高适生区面积为 $2.974 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是现有高适生区面积的 21.1 倍。

2021—2040 年、SSP585 情景下, 茶角胸叶甲中适生区面积减少至 $2.0 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是现有中适生区面积的 10.4%, 但在 2061—2080 年、SSP245 情景

2.4 气候变化对茶角胸叶甲潜在分布的影响

利用 MaxEnt 模型对 4 个时间段(2021—2040 年、2041—2060 年、2061—2080 年、2081—2100 年)、4 种气候变化(SSP126、SSP245、SSP370、SSP585)情景下的茶角胸叶甲潜在适生区进行预测, 获得不同气候变化条件下茶角胸叶甲的潜在适生区面积(图4)。不同年份、不同路径下的茶角胸叶甲潜在适生区相对于目前分布区发生了变化。在 SSP126 和 SSP245 情景下, 2061—2080 年茶角胸叶甲的总适生区面积在达到峰值后下降; 在 SSP370 情景下, 2041—2060 年茶角胸叶甲的总适生区面积在达到峰值后下降; 但在 SSP585 情景下, 茶角胸叶甲总适生区面积将持续增加。

下, 中适生区面积为 $2.956 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是现有中适生区面积的 15.3 倍。

2021—2040 年、SSP585 情景下, 茶角胸叶甲低适生区面积减少至 $1.98 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是现有低适生区面积的 59.1%, 但在 2061—2080 年、SSP245 情景下, 高适生区面积为 $3.129 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是现有低适生区面积的 9.3 倍。

对比目前气候条件和不同气候变化情景下茶角胸叶甲的各适生区地点(表 3)发现, 在不同气候变化情景下, 茶角胸叶甲的高度适生区中心移动的趋势不一致, 但大多向西部、北部地区移动, 而茶角胸叶甲的中度适生区和低度适生区中心多有向西北方向、高纬度地区等内陆移动的趋势。

表 3 不同气候变化情景下茶角胸叶甲各适生区中心

Table 3 The center of various adaptive areas of <i>Basilepta melanopus</i> under different climate change scenarios and time periods							
年份	情景框架	地理坐标			中心地点		
		低适生区	中适生区	高适生区	低适生区	中适生区	高适生区
2021—2040	SSP126	114.807E, 27.002N	114.849E, 26.883N	114.191E, 26.645N	江西吉安县	江西泰和县	江西井冈山市
		113.574E, 26.930N	113.374E, 26.937N	118.466E, 24.616N	湖南茶陵县	湖南攸县	福建晋江市
		101.817E, 29.468N	109.247E, 27.592N	106.330E, 27.406N	四川康定市	贵州万山区	贵州金沙县
		109.551E, 27.492N	112.243E, 26.748N	114.242E, 27.459N	湖南芷江县	湖南祁东县	江西安福县
		108.530E, 26.681N	97.636E, 27.921N	110.820E, 24.925N	贵州剑河县	境外	广西恭城县
2041—2060	SSP126	110.782E, 27.383N	110.797E, 27.312N	109.207E, 26.993N	湖南隆回县	湖南隆回县	贵州天柱县
		107.853E, 28.066N	111.873E, 26.956N	111.742E, 26.939N	贵州德江县	湖南祁东县	湖南祁东县
		100.403E, 30.366N	108.683E, 27.332N	108.742E, 26.960N	四川理塘县	贵州岑巩县	贵州三穗县
		111.500E, 27.058N	107.875E, 27.255N	100.662E, 27.471N	湖南邵阳县	贵州余庆县	云南宁蒗县
		103.455E, 29.195N	110.275E, 27.462N	109.784E, 26.705N	四川峨边县	湖南中方县	湖南靖州县
2061—2080	SSP245	106.108E, 41.418N	99.706E, 37.219N	104.149E, 29.415N	内蒙古乌拉特后旗	青海刚察县	四川荣县
		111.888E, 26.321N	110.284E, 25.485N	118.121E, 23.633N	湖南零陵区	广西灵川县	台湾海峡
		110.638E, 27.485N	111.511E, 26.373N	109.870E, 26.028N	湖南溆浦县	湖南东安县	广西龙胜县
		110.398E, 26.645N	102.060E, 27.035N	111.006E, 24.839N	湖南绥宁县	四川米易县	广西恭城县
		112.275E, 26.837N	112.305E, 26.249N	116.561E, 25.146N	湖南衡南县	湖南常宁市	福建上杭县
2081—2100	SSP370	110.444E, 26.055N	108.364E, 25.699N	113.040E, 24.808N	广西资源县	贵州榕江县	广东乳源县
		109.574E, 27.557N	109.264E, 26.433N	103.204E, 26.927N	湖南芷江县	贵州黎平县	云南巧家县

3 讨论

收集茶角胸叶甲发生信息,借助 MaxEnt 模型,对其目前气候条件下适生区和 4 种气候变化情景下的潜在适生区进行了预测。结果表明,目前气候条件下,茶角胸叶甲的潜在适生区总面积为 $6.69 \times 10^5 \text{ km}^2$, 主要分布在江西、湖南、湖北、广西、广东、福建、安徽、浙江、江苏、贵州、台湾,其中,湖北、安徽、浙江、江苏和台湾气候条件适宜茶角胸叶甲生存,且可能定殖扩散,因而在苗木调运时需加强防控,避免引入造成危害。在 SSP126、SSP245 与 SSP370 情景下,茶角胸叶甲的总适生区面积达到峰值后下降;但在 SSP585 情景下,茶角胸叶甲总适生区面积持续上升。

选取的 22 个环境变量中,最冷季降水量的贡献率高达 84.7%。茶角胸叶甲存在概率对最冷季降水量的响应曲线先高后低,表明过湿或过干旱都会影响茶角胸叶甲的发生,与实际相印证^[27-28]。此外,坡度也影响茶角胸叶甲的分布。平地与丘陵茶园一般比高山茶园发生多^[27],这与茶角胸叶甲存在概率随着坡度上升而减小一致。各坡向均可能存在茶角胸叶甲,且西北坡、北坡、平地最适其生存。而调查结果发现南坡茶园幼虫发生量大,这可能是因为在模型模拟过程中,单从坡度这一要素来探讨茶角

胸叶甲存在概率,而实际调查的结论是从多变的复杂环境条件下获得的。

尽管选取了包括气候、地形等共计 22 个环境变量进行模拟,但考虑到茶角胸叶甲长期居于地下,土壤的理化性质、肥力水平、松紧程度甚至土壤的类型都可能对茶角胸叶甲的分布产生影响;因此,在未来研究茶角胸叶甲适生区时,还需综合考虑茶角胸叶甲的生物学信息、寄主分布、土壤理化性质、茶园农事管理、防控措施等更多的生物和非生物因素,使得预测结果与实际情况更加吻合。已收集了足够多的茶角胸叶甲发生信息,但考虑到该虫相关的公开报道次数及实地采样的局限性,可能导致采集的样点在空间分布上相对集中,可能会对预测结果产生一定影响,甚至导致极端值的出现^[29];因此,在尚未报道茶角胸叶甲为害的省份仍需加强监测与预防,以获得更好的防控效果。

参考文献:

[1] 汪荣灶. 黑足角胸叶甲发生与危害的初步考查[J]. 福建茶叶, 1989, 11(2): 40-41.

[2] 何学友, 蔡守平, 吴智才. 油茶的一种新害虫——黑足角胸叶甲[J]. 中国森林病虫, 2011, 30(3): 16-17.

[3] 谭济才, 刘贵芳, 王德兴, 等. 茶角胸叶甲生物学特性及防治研究[J]. 湖南农学院学报, 1986, 12(4): 51-60.

[4] 汪荣灶, 胡勇. 江西黑足角胸叶甲成虫的盛发期与防

- 治[J]. 江西植保, 2004, 27(4): 175.
- [5] 包强, 李冠华, 肖蕾, 等. 4 种植物源农药对茶角胸叶甲的室内毒力测定[J]. 广东茶业, 2020, 171(3): 12–15.
- [6] 林阿祥. 茶角胸叶甲的发生与防治初报[J]. 茶叶科学简报, 1991, 32(4): 43–44.
- [7] 谢逸菲, 何振, 李密, 等. 茶角胸叶甲幼虫在茶园土壤中的空间分布特征[J]. 湖南林业科技, 2017, 44(5): 55–60.
- [8] 谢振伦, 马智华, 朱侠慧. 茶角胸叶甲的初步观察[J]. 中国茶叶, 1985, 7(4): 6–7.
- [9] 朱来佳. 2011 年昭平县茶角胸叶甲重发生原因及对策[J]. 农业研究与应用, 2013(2): 64–67.
- [10] 唐继洪, 程云霞, 罗礼智, 等. 基于 Maxent 模型的不同气候变化情景下我国草地螟越冬区预测[J]. 生态学报, 2017, 37(14): 4852–4863.
- [11] STEVEN J P, MIROSLAV D, Robert E S. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)[EB/OL]. [2022–08–19]. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- [12] 尹辉, 田聪, 马倩倩, 等. 气候变化和人类活动干扰下骆驼刺潜在分布格局变化特征[J]. 生态学报, 2022, 42(18): 7349–7361.
- [13] 姜明鑫, 钟文玉, 胡海琴, 等. 气候变化背景下茶小绿叶蝉在中国的潜在适生区预测[J]. 生态学杂志, 2022, 41(10): 2008–2016.
- [14] 李先文, 谭济才, 柏晓勇, 等. 几种药剂对茶角胸叶甲的室内杀虫活性测定及田间药效试验[J]. 现代农药, 2008, 7(3): 44–47.
- [15] 张华, 赵浩翔, 徐存刚. 气候变化背景下孑遗植物桫欏在中国的潜在地理分布[J]. 生态学杂志, 2021, 40(4): 968–979.
- [16] 曹潘荣, 刘克斌, 刘春燕, 等. 茶角胸叶甲侵害对岭头单枞茶鲜叶芳香物质的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2098–2101.
- [17] WU T, LU Y, FANG Y, et al. The Beijing climate center climate system model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6[J]. Geoscientific Model Development, 2019, 12(4): 1573–1600.
- [18] 张杰, 曹丽格, 李修仓, 等. IPCC AR5 中社会经济新情景(SSPs)研究的最新进展[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 225–228.
- [19] MOSS R H, EDMONDS J A, HIBBARD K A, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment[J]. Nature, 2010, 463: 747–756.
- [20] 姜彤, 吕嫣冉, 黄金龙, 等. CMIP6 模式新情景(SSP–RCP)概述及其在淮河流域的应用[J]. 气象科技进展, 2020, 10(5): 102–109.
- [21] 张丽霞, 陈晓龙, 辛晓歌. CMIP6 情景模式比较计划(ScenarioMIP)概况与评述[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(5): 519–525.
- [22] 马世炎, 于洪春, 赵奎军, 等. 基于 MaxEnt 模型的大豆蚜全球潜在地理分布分析[J]. 昆虫学报, 2022, 65(5): 630–637.
- [23] 刘学琴, 白明, 贺达汉, 等. 基于 MaxEnt 模型的草原步甲属潜在地理分布研究[J]. 生态学报, 2022, 42(10): 4217–4224.
- [24] 吕汝丹, 何健, 刘慧杰, 等. 羽叶铁线莲的分布区与生态位模型分析[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(2): 70–79.
- [25] 张伟萍, 胡云云, 李智华, 等. 气候变化情景下祁连圆柏在青海省的适宜分布区预测[J]. 应用生态学报, 2021, 32(7): 2514–2524.
- [26] SWETS J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems[J]. Science, 1988, 240: 1285–1293.
- [27] 谭济才, 刘贵芳, 王德兴, 等. 茶角胸叶甲的发生与防治[J]. 中国茶叶, 1987, 9(1): 15–16.
- [28] 吴勇, 林娟, 黎健龙, 等. 英德市 2019 年茶角胸叶甲重发生的气象成因浅析及其防治试验[J]. 广东茶业, 2021(2): 6–9.
- [29] 王艳君, 高泰, 石娟. 基于 MaxEnt 模型对舞毒蛾全球适生区的预测及分析[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(9): 59–69.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗 维