

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2024.02.009

# 入侵植物薇甘菊在贵州的潜在适生区及其变化趋势

曾晓丽<sup>1</sup>, 喻三鹏<sup>2</sup>, 田茂娟<sup>3</sup>, 张念念<sup>3</sup>, 班启明<sup>4</sup>, 邱建生<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>贵州大学林学院, 贵州 贵阳 550025; <sup>2</sup>贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550002;

<sup>3</sup>贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550005; <sup>4</sup>望谟县林业局, 贵州 望谟 552300

**摘要:**【目的】薇甘菊是一种危害性极大的外来入侵植物, 2016—2022 年间, 多次在贵州省发现其入侵种群。预测薇甘菊在贵州的潜在适生区及其变化规律, 可对贵州薇甘菊防控体系建设提供依据。【方法】在全球筛选薇甘菊分布点 1001 个, 结合 22 个环境因子数据, 采用最大熵模型(MaxEnt)预测当前及未来气候条件下薇甘菊在贵州的潜在分布情况, 并进行主导因子分析。【结果】当前气候条件下, 薇甘菊在贵州的高适生区面积为 1.51 万 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 8.60%, 主要位于黔西南州和黔南州; 在未来气候条件下, 薇甘菊在贵州的适生区呈扩增状态, 适生区分布中心坐标(26.43°N, 107.00°E)由黔南州向贵阳市转移; 影响薇甘菊适生范围的主导因子是年平均温度、昼夜温差平均值、温度季节性变化、最冷月份最低温、年降水量和最热季平均降水量。【结论】薇甘菊在贵州的适生区范围广, 温度和降水是主要影响因素。在未来气候条件下, 薇甘菊在贵州的适生区呈扩增状态, 整体向北迁移扩散的趋势明显。

**关键词:** 薇甘菊; MaxEnt; 适生区预测; 质心转移; 贵州



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Suitable growth areas of the invasive plant *Mikania micrantha* in Guizhou and its trends

ZENG Xiaoli<sup>1</sup>, YU Sanpeng<sup>2</sup>, TIAN Maojuan<sup>3</sup>, ZHANG Niannian<sup>3</sup>, BAN Qiming<sup>4</sup>, QIU Jiansheng<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; <sup>2</sup>Guizhou Water Conservancy and Hydropower

Survey and Design Institute Co. Ltd, Guiyang, Guizhou 550002, China; <sup>3</sup>Guizhou Academy of Forestry, Guiyang,

Guizhou 550005, China; <sup>4</sup>Wangmo County Forestry Bureau, Wangmo, Guizhou, 552300, China

**Abstract:** 【Aim】*Mikania micrantha* is a highly invasive alien species. Populations of this invasive species have been repeatedly discovered in Guizhou Province between 2016 and 2022. We predicted the potentially suitable areas for *M. micrantha* in Guizhou and their changing patterns to provide a basis for establishing a control and prevention system against them. 【Method】We identified 1001 global distribution sites for *M. micrantha* and combined them with data from 22 environmental factors. Using the maximum entropy model (MaxEnt), we predicted the potential distribution of *M. micrantha* under current and projected future climate conditions in Guizhou. A dominant-factor analysis was also conducted. 【Result】Under current climatic conditions, the areas in Guizhou most suitable for *M. micrantha* cover approximately  $1.51 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, representing 8.60% of the province's area. These areas are predominantly located in Qianxinan and Qiannan Autonomous Prefectures. Under future climatic conditions, the suitable areas for *M. micrantha* growth in Guizhou are expected to increase. The center of this suitable distribution area (26.43°N, 107.00°E) was predicted to shift from Qiannan Prefecture to Guiyang City. The dominant factors affecting the suitable range of *M. micrantha* included the annual mean temperature, mean diurnal range, temperature seasonality, minimum temperature of the coldest month, annual precipitation, and precipitation of the warmest quarter. 【Conclusion】*M. micrantha* has a broad range of suitable habitats in Guizhou, with temperature and precipitation being the main influencing factors. Under future climatic conditions, the suitable areas for *M. micrantha* are projected to expand, exhibiting notable northward migration and dispersion trends.

收稿日期(Received): 2023-05-23 接受日期(Accepted): 2023-08-20

基金项目: 贵州省高层次创新型人才培养计划[黔科合平台人才(2016)5669]; 国家林业和草原局科技发展中心项目(KJZX18016)

作者简介: 曾晓丽, 女, 硕士研究生。研究方向: 外来物种。E-mail: 18886486047@163.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 邱建生, E-mail: qiu1803@qq.com

**Key words:** *Mikania micrantha*; MaxEnt; prediction of suitable area; centroid transfer; Guizhou;

薇甘菊 *Mikania micrantha* Kunth ex H.B.K 是菊科 Asteraceae 假泽兰属 *Mikania* 的多年生藤本植物,原产于中热带的中南美洲,是“世界 100 种最具危害性的外来入侵物种”,2023 年被农业农村部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、海关总署和国家林业和草原局六部门列入“重点管理外来入侵物种名录”。薇甘菊生长迅速,一个小节一年可累计生长 1000 m,种子量高达  $20 \text{ 万粒} \cdot \text{m}^{-3}$  (张炜银等,2003),可以无性繁殖(邵婉婷等,2002),且萌发率高(李鸣光等,2002)、生命力强(林翠新等,2003),能够用气根快速攀附于小乔木或灌木上,通过营养竞争或他感作用抑制本土植物生长(咎启杰等,2000),从而占据生态空间,破坏入侵地的生态环境。自 20 世纪入侵中国以来,薇甘菊已经在云南、广西、海南、台湾、福建等多个省(自治区)造成严重危害。目前,薇甘菊在中国大陆的分布仍在不断推移,其北线已抵达贵州望谟及罗甸、江西赣州(曾宪锋,2013)及浙江温州(王强等,2022)。2016—2022 年,科研人员多次在贵州省黔东南州望谟县、黔南州罗甸县发现薇甘菊入侵种群。近年来,多位学者采用生态位模型在不同尺度上对薇甘菊在中国(张海娟等,2011)、云南省(付小勇等,2015)及广东省广州市(邱罗等,2010)、中山市(陈志云等,2021)等的适生区进行了预测研究,但贵州省薇甘菊的潜在分布区预测分析尚空缺。

最大熵模型(MaxEnt)、生物气候模型(BIOCLIM)和预设遗传算法(GARP)等生态位模型是目前进行物种潜在适生区预测最常用的分析工具,其中,MaxEnt 模型的应用更为广泛(陈志云等,2021;贾翔等,2023;张彦静等,2023)。该模型基于最大熵原理编写(Phillips & Dudik,2008; Steven *et al.*, 2006),具有原理清晰简单、预测结果简要明了的优点(杨志香等,2014;殷晓洁等,2013),尤其在外来入侵物种的潜在适生区预测方面(王亚锋等,2022;喻三鹏,2022;喻三鹏等,2021),已成为预测模型的主流。为预测薇甘菊在贵州的潜在适生区及其变化规律,本文采用最大熵模型预测当前气候及未来气候条件下薇甘菊在贵州的潜在分布情况,并进行主导因子分析,以期对贵州薇甘菊防控体系建设提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

1.1.1 薇甘菊分布数据与筛选 分布数据,即为“存在”薇甘菊地点的经纬度信息,通过以下方式获取:(1)数据库查找,包括全球生物多样性信息数据库 GBIF (<https://www.gbif.org/>)、中国数字标本馆 CVH (<https://www.cvh.ac.cn/>)及中国国家标本资源平台 NSII (<http://www.nsii.org.cn/>);(2)野外实地调查;(3)检索公开发表的关于薇甘菊的文献。采用缓冲区分析法对薇甘菊的分布点进行筛选(郭燕青等,2019;王茹琳等,2017),设置 1.5 km 的缓冲半径,当缓冲半径出现重叠时,只保留其中一个分布点。通过数据筛选,共获取 1001 个分布点。

1.1.2 预测环境变量数据 研究使用 30 个环境变量因子,包括 19 气候因子、8 个土壤因子、3 个地形因子。WorldClim 数据集被广泛用于物种分布建模(Yaojie *et al.*, 2019),通过 WorldClim (<https://worldclim.org>)获取 2.1 版的气候因子和海拔因子,气候因子包含当前气候条件(1970—2000 年)和未来气候条件(2021—2040 年、2041—2060 年、2061—2080 年、2081—2100 年)的生物气候因子数据,其中,未来气候条件数据包含 3 种共享社会经济路径(ssp126、ssp245 和 ssp585)数据。土壤因子从(<https://www.fao.org/soils-portal/en/>)获取。坡度和坡向因子从中国科学院计算机网络信息中心(<http://www.gscloud.cn/>)中 DEM 数字高程数据提取获得(郑刘梦,2018)。所有使用的环境变量空间分辨率约为 4.5 km。

为了避免由所选变量之间的多重共线性引起的模型过度拟合(Dormann *et al.*, 2013),使用多重共线性检验(李灿,2018)。将气候因子、土壤因子、地形分为一组,进行 Pearson 相关性分析,保留相关系数  $|r| < 0.8$  的变量,当 2 个变量之间的相关性系数  $|r| \geq 0.8$  时,选择贡献率较高的环境因子(陆双飞等,2020;云英英等,2023),经筛选后得到 22 个环境变量(bio01 年平均温度、bio02 昼夜温差月均值、bio04 温度季节性变化、bio05 最热月份最高温、bio06 最冷月份最低温、bio07 年温度变化范围、bio08 最湿季度平均温度 bio12 年降水量、bio14 最干月降水量、bio16 最湿季度降水量、bio17 最干季

度降水量、bio18 最热季平均降水量、bio19 最冷季降水量、Cavailablesoilwater 土壤有效水含量、Cceco soil 土壤阳离子交换量、Coc 有机碳含量、Cph 土壤酸碱度、Csilt 淤泥含量、Csoilbulkdensity 土壤容重、Caspect 坡向、Cslope 坡度、Calt 海拔)用于建模。

1.1.3 地图数据 通过中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)获取贵州省地级市行政区划图。

1.2 研究方法

1.2.1 预测模型及参数选择 以薇甘菊分布点、气候因子、土壤因子和地形因子作变量数据,导入 MaxEnt 模型中,设置 75% 的分布点作为训练集,25% 的分布点作为验证集。将生成的受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)下面积(area under curve, AUC)作为评价模型预测准确性的评价标准:0.5 ≤ AUC 值<0.6,失败;0.6 ≤ AUC 值<0.7,一般;0.7 ≤ AUC 值<0.8,较准确;0.8 ≤ AUC 值<0.9,准确;0.9 ≤ AUC 值<1.0,极准确。AUC 值越高,证明对薇甘菊的适生预测效果越好(姜明鑫等,2022)。用 ArcMap 打开预测结果,加入贵州省地级市行政区划图,提取预测结果,并运用自然断点法(jenks)进行重分类,将薇甘菊在贵州的适生区划分为高适生区[0.225~0.408)、中适生区[0.142~0.225)、低适生区[0.086~0.142)和非适生区[0.014~0.086)4 个等级。

1.2.2 数据处理 使用 WPS 2023 录入薇甘菊分布

点、建模的环境变量等,使用 MaxEnt 3.4.1 预测薇甘菊当前气候条件和未来气候条件的潜在适生区,使用 IBM SPSS Statistics 26 进行环境因子的相关性分析,使用 ArcMap 10.8 筛选分布点数据并对预测结果进行可视化操作。

2 结果与分析

2.1 主导因子筛选

2.1.1 环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率及置换重要性 根据环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率及置换重要性(表 1),bio12、bio18、bio4、bio6 对建模的贡献率分别为 54.2%、19.5%、5.9%、4.6%,累积贡献率达84.2%;bio17、bio5、Caspect 对建模的贡献率为 0,对建模没有贡献;在环境变量置换重要性中,bio1、bio4、bio18、bio2 置换重要性分别为 38.9%、22.9%、13.5%和 6.3%,累积重要性为 81.6%,在建模过程中起关键性作用;Caspect、bio5 对建模的置换重要性为 0,对建模没有影响。结合刀切法检验(图 1),在所有环境变量中,气候因子得分较高,地形因子和土壤因子得分较低,表明地形因子和土壤因子对薇甘菊的分布影响较小。在得分较高的气候因子中,bio18、bio12 得分在 1.5 左右,表明 bio18、bio12 对薇甘菊的分布区的预测有重要影响。由此可见,年降水量(bio12)、最热季平均降水量(bio18)、温度季节性变化(bio4)、最冷月份最低温(bio6)、年平均温度(bio1)和昼夜温差月均值(bio2)为影响薇甘菊分布的主要环境变量。

表 1 环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率及置换重要性  
Table 1 Contribution of environmental variables to the MaxEnt model and the importance of substitution

| 变量<br>Variable                                                  | 贡献率<br>Contribution rate/% | 置换重要性<br>Importance of permutation/% |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| bio12 年降水量 Annual precipitation                                 | 54.2                       | 3.9                                  |
| bio18 最热季平均降水量 Precipitation of warmest quarter                 | 19.5                       | 13.5                                 |
| bio4 温度季节性变化 Temperature seasonality                            | 5.9                        | 22.9                                 |
| bio6 最冷月份最低温 Min temperature of coldest month                   | 4.6                        | 0.0                                  |
| Csilt 淤泥含量 Silt content                                         | 3.9                        | 2.1                                  |
| Calt 海拔 Elevation                                               | 2.4                        | 0.9                                  |
| bio19 最冷季度降水量 Precipitation of coldest quarter                  | 2.2                        | 3.0                                  |
| bio2 昼夜温差月均值 Mean diurnal range                                 | 1.1                        | 6.3                                  |
| Cslope 坡度 Slope                                                 | 1.0                        | 0.7                                  |
| bio8 最湿季度平均温度 Mean temperature of wettest quarter               | 0.9                        | 1.5                                  |
| Cph 土壤酸碱度 Topsoil pH (H <sub>2</sub> O)                         | 0.8                        | 1.8                                  |
| bio14 最干月降水量 Precipitation of driest month                      | 0.8                        | 1.7                                  |
| bio16 最湿季度降水量 Precipitation of wettest quarter                  | 0.8                        | 0.4                                  |
| bio1 年平均温度 Annual mean temperature                              | 0.5                        | 38.9                                 |
| bio7 年温度变化范围 Temperature annual range                           | 0.4                        | 0.0                                  |
| Csoilbulkdensity 土壤有效水含量 Available water storage capacity range | 0.3                        | 1.0                                  |
| Coc 有机碳含量 Organic carbon content                                | 0.2                        | 0.4                                  |
| Cceco soil 土壤阳离子交换能力 Soil cation exchange capacity              | 0.2                        | 0.5                                  |

续表 1

| 变量<br>Variable                                                     | 贡献率<br>Contribution rate/% | 置换重要性<br>Importance of permutation/% |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Cavailablesoilwater 土壤有效水含量 Available water storage capacity range | 0.1                        | 0.4                                  |
| bio17 最干季度降水量 Precipitation of driest quarter                      | 0.0                        | 0.1                                  |
| Caspect 坡向 Aspect                                                  | 0.0                        | 0.0                                  |
| bio5 最热月份最高温 Max temperature of warmest month                      | 0.0                        | 0.0                                  |

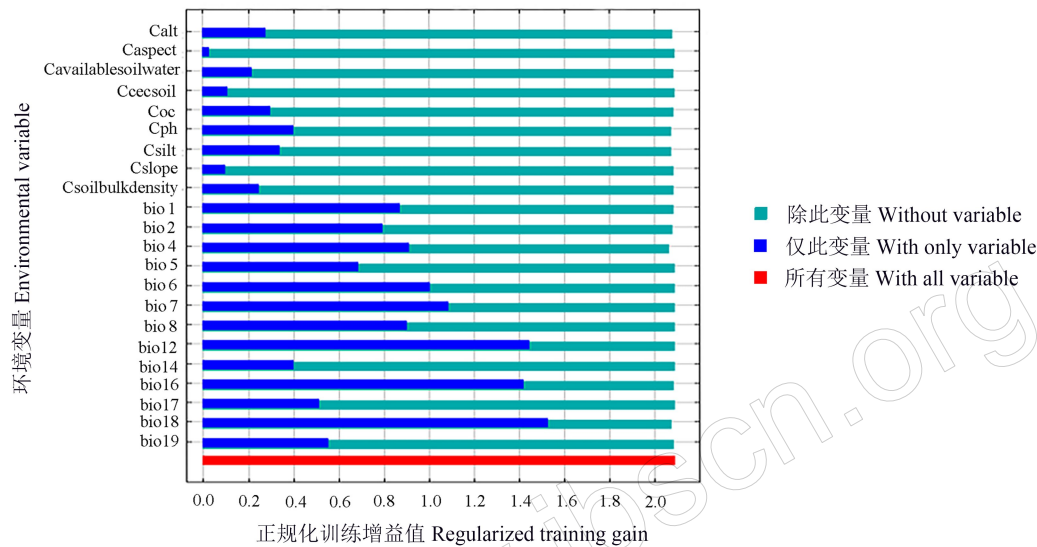


图 1 刀切法检验环境变量的重要性

Fig.1 The importance of the knife cut method of testing environmental variables

2.1.2 适生范围 如图 2 所示,通过环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率及置换重要性及刀切法检验分析出的主要环境变量(年平均温度、昼夜温差平均值、温度季节性变化、最冷月份最低温、年降水量和最热季平均降水量),结合仅适用单一环境因子响应曲线,以存在概率>0.3 为界,薇甘菊的适生环境因子变化范围为:年平均温度 17~28 ℃,昼夜温差平均值 3~9 ℃,温度季节性变化的标准差 35~740,最冷月份最低温 7 ℃ 以上,年降水量 1400~5500 mm,最热季平均降水量 500 mm 以上。

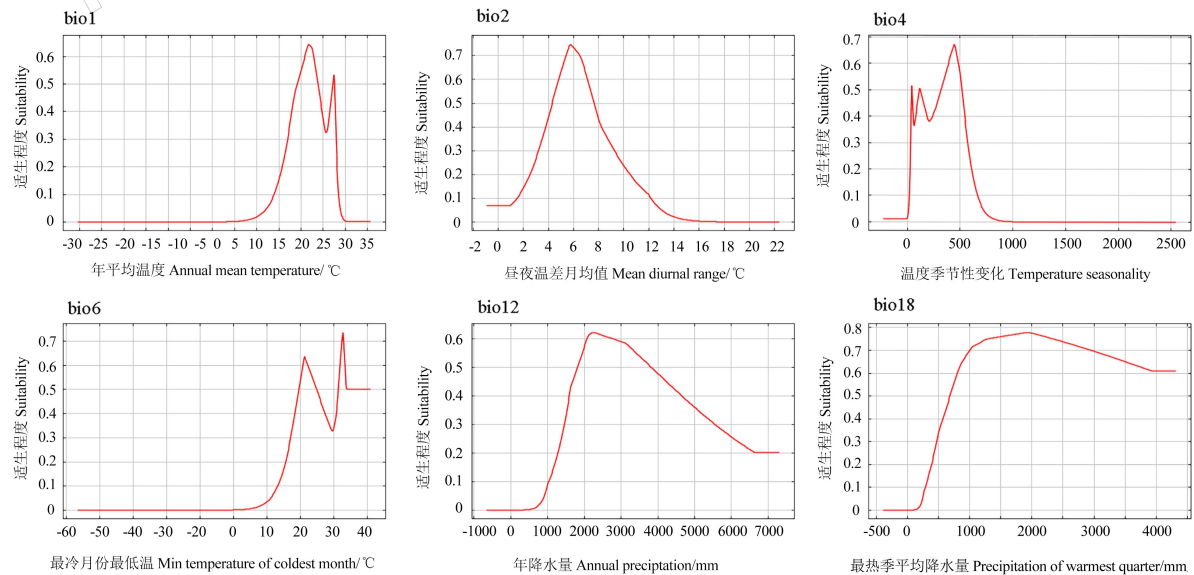


图 2 主导环境因子响应曲线

Fig.2 Dominant environmental factor response curve

2.2 薇甘菊适生区预测模型准确性检验

如图 3、4 所示,由 MaxEnt 运行输出的预测模型遗漏率分析和 ROC 曲线显示,基于导入的 22 个环境变量构建的薇甘菊地理分布模型中,训练样

本、测试样本和预测的遗漏率基本重叠,且训练数据的 AUC 值为 0.960,测试数据的 AUC 值为 0.957,结合 ROC 曲线评价标准,表明预测结果有规律,具有极准确性。

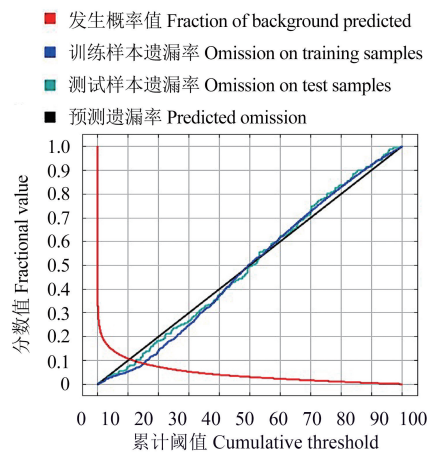


图 3 遗漏率和预测面积与累积阈值的关系  
Fig.3 The omission rate and predicted area as a function of the cumulative threshold

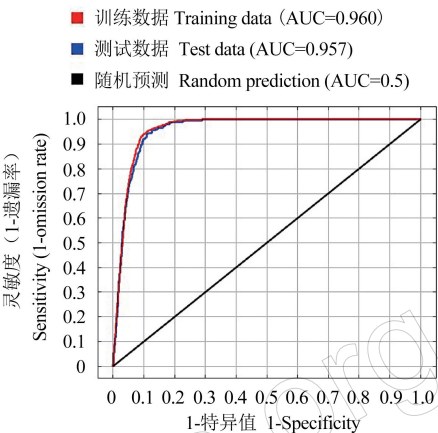


图 4 同一数据的接收操作特征 (ROC) 曲线  
Fig.4 The receiver operating characteristic (ROC) curve for the same data

2.3 当前气候情景下薇甘菊在贵州的潜在适生区

当前气候条件下,薇甘菊在贵州的适生范围广,总适生面积 10.63 万 km<sup>2</sup>,占贵州省总面积的 60.35%。高适生区面积 1.51 万 km<sup>2</sup>,占全省面积的 8.60%,主要位于黔西南州、黔南州、安顺市,及遵义市、黔东南州部分区域;中适生区面积约 2.71 万 km<sup>2</sup>,占全省面积的 15.35%,主要位于黔西南州、六盘

水市、安顺市、黔南州和黔东南州,及遵义市、铜仁市和贵阳市部分区域;低适生区面积约 6.41 万 km<sup>2</sup>,占全省面积的 36.40%,主要位于黔中地区到铜仁地区一带,及六盘水市、毕节市、遵义市部分区域;非适生区面积约 6.98 万 km<sup>2</sup>,占全省面积的 39.65%,主要位于毕节市、遵义市,及六盘水市、安顺市、贵阳市、黔南州、黔东南州、铜仁市部分区域(图 5)。

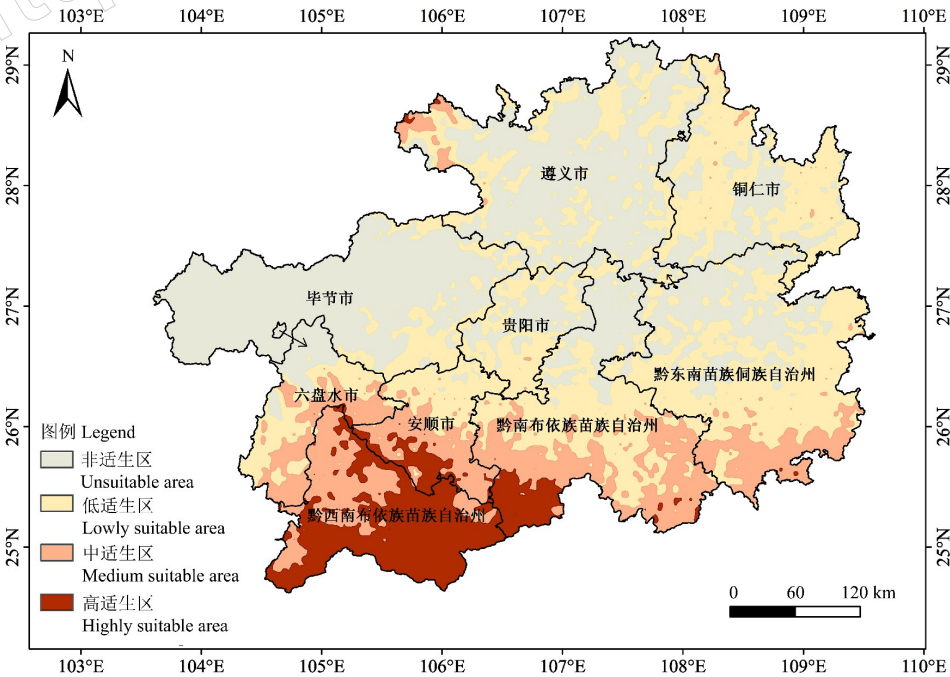


图 5 当前气候条件下薇甘菊在贵州的适生区预测[审图号:黔图技审(2023)第(009)号]  
Fig.5 The potential suitable area of *M. micrantha* in Guizhou under the current climate contition

### 2.4 未来气候情景下薇甘菊在贵州的潜在分布区

与当前气候相比,未来气候条件下,薇甘菊在贵州的潜在适生区总体呈增加的趋势。在 ssp126 情景中,与当前气候情景相比,2021—2040 年、2041—2060 年、2061—2080 年、2081—2100 年 4 个阶段中,薇甘菊潜在适生区面积分别增加 2.74 万、3.86 万、5.33 万、5.83 万 km<sup>2</sup>;在 ssp245 情景中,与当前气候情景相比,2021—2040 年、2041—2060

年、2061—2080 年、2081—2100 年 4 个阶段中,薇甘菊潜在适生区面积分别增加 5.54 万、6.22 万、6.46 万、6.68 万 km<sup>2</sup>;在 ssp585 情景中,与当前气候情景相比,2021—2040 年、2041—2060 年、2061—2080 年、2081—2100 年 4 个阶段中,薇甘菊潜在适生区面积分别增加 4.89 万、6.26 万、6.78 万、6.98 万 km<sup>2</sup>(表 2)。

表 2 未来不同气候情景下薇甘菊在贵州的适生区面积  
Table 2 Area of suitable habitat for *M. micrantha* in Guizhou under different future climate scenarios

| 适生区类型<br>Types of suitable area | 当前 Current  |  | ssp126      |             |             |             |  |
|---------------------------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
|                                 | 1971—2000 年 |  | 2021—2040 年 | 2041—2060 年 | 2061—2080 年 | 2081—2100 年 |  |
| 高适生区 Highly suitable area       | 1.51        |  | 2.07        | 2.13        | 3.32        | 3.49        |  |
| 中适生区 Moderately suitable area   | 2.71        |  | 3.53        | 3.57        | 4.81        | 8.60        |  |
| 低适生区 Lowly suitable area        | 6.41        |  | 7.77        | 8.8         | 7.82        | 4.38        |  |
| 总面积 Total area                  | 10.63       |  | 13.37       | 14.49       | 15.96       | 16.47       |  |

| 适生区类型<br>Types of suitable area | ssp245      |             |             |             | ssp585      |             |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                 | 2021—2040 年 | 2041—2060 年 | 2061—2080 年 | 2081—2100 年 | 2021—2040 年 | 2041—2060 年 | 2061—2080 年 | 2081—2100 年 |
| 高适生区 Highly suitable area       | 3.30        | 3.87        | 4.06        | 4.37        | 2.28        | 3.48        | 4.02        | 4.58        |
| 中适生区 Moderately suitable area   | 6.06        | 7.44        | 7.53        | 8.56        | 4.16        | 6.57        | 7.45        | 7.30        |
| 低适生区 Lowly suitable area        | 6.81        | 5.55        | 5.50        | 4.38        | 9.08        | 6.84        | 5.95        | 5.73        |
| 总面积 Total area                  | 16.18       | 16.85       | 17.09       | 17.31       | 15.52       | 16.89       | 17.42       | 17.61       |

### 2.4 薇甘菊在潜在分布区的质心迁移

薇甘菊在当前气候情景下的潜在适生区分布中心坐标为(26.43°N, 107.00°E),在 ssp126、ssp245、ssp585 气候情景下,其质心逐渐向西北方向迁移。在 ssp126 气候情景下,其质心先向东北迁移 20.16 km 至(26.59°N, 107.08°E),随后向西北迁移至(26.80°N, 107.04°E),共迁移了 41.99 km;在 ssp245 气候情景下,其质心先向东北迁移 38.95 km 至(26.77°N, 107.05°E),随后向西北迁移至(26.80°N, 106.92°E),共迁移了 42.57 km;在 ssp585 气候情景下,其质心先向东北迁移 38.95 km 至(26.77°N, 107.09°E),之后向西北方向迁移至(26.82°N, 106.88°E),共迁移了 45.86 km。在 ssp126、ssp245、ssp585 气候情景下,其质心均由黔南州转向贵阳市转移,由此可见,在不同气候情景下,薇甘菊的潜在适生区往黔中区域迁移(图 6)。

### 3 讨论

本研究收集整理薇了甘菊在贵州省现有分布点和全球分布情况,利用 MaxEnt 模型对薇甘菊在贵

州的适生区及其变化趋势进行预测。训练数据和测试数据的 AUC 值分别为 0.960 和 0.957,表明预测结果有规律,具有极准确性。

主导因子分析表明,土壤因子和地形因子对薇甘菊的适生分布影响很小,气候因子的影响较大。张海娟等(2011)的研究也表明,影响薇甘菊潜在适生区最重要环境变量是温度和降水,这与光照和土壤水分是影响薇甘菊生长的重要因子相吻合(温达志等,2000; Iporib & Tawan-Cs, 1995)。

根据预测结果,薇甘菊在贵州的高适生区主要为兴义—普安—六枝—关岭—镇宁—紫云—罗甸一线以南,以及赤水、荔波、从江的少部分区域,此区域年平均温度较高,雨雪、霜冻天气少,植株不易被冻死,薇甘菊能够在 1—2 月正常结实。就目前贵州发现薇甘菊分布的地点(望谟、罗甸)来看,册亨、兴义、安龙、罗甸等高适生区域毗邻薇甘菊高发生区——云南、广西,且气候类型与望谟、罗甸相似,可能有薇甘菊分布。

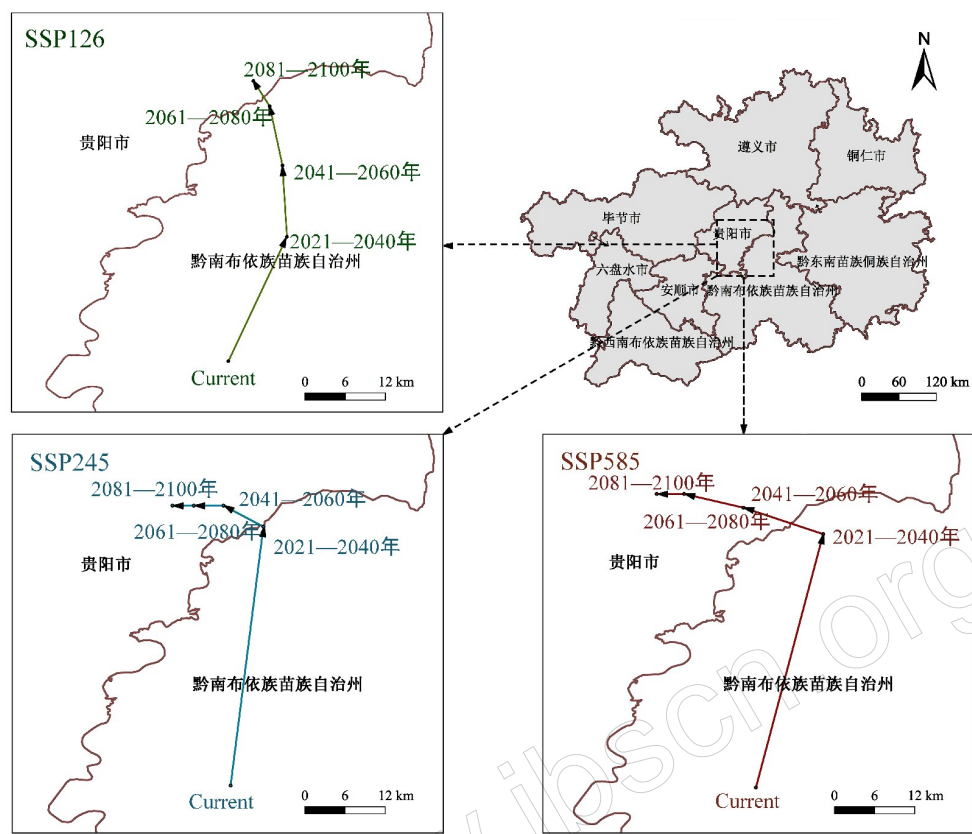


图 6 不同气候情景下薇甘菊潜在适生区质心的地理分布变迁[审图号:黔图技审(2023)第(009)号]

Fig.6 Variation in the geographic distribution of plasmids in potential fitness zones of *M. micrantha* under different climate scenarios

在共享社会经济路径情景中(ssp126、ssp245、ssp585)的未来气候条件下,薇甘菊在贵州的高适生区、中适生区、低适生区的面积均随时间段的推移不断扩增,同时,适生区分布中心坐标(26.43°N, 107.00°E)由黔南州向贵阳市转移。值得关注的是,未来全球气候受人为影响会造成薇甘菊适生区发生改变。此外,植物对温度适应性的研究表明,植株体内的 *OsICE1* 基因可以通过去甲基化来加强其耐寒性(Xie *et al.*, 2019)。在薇甘菊对环境温度不断适应的情况下,其适生面积将扩散蔓延至温度更低的地区。因此,考虑到未来气候变化的不确定性和植物对温度适应性的影响,需结合实际,动态监测薇甘菊的入侵情况,合理制定防控措施。

薇甘菊在高适生区内具有高发生率,且种群扩增速度快,为防止其持续影响农林经济及生态环境,提出以下建议:(1)及时关注温度、降水等主导因子变化及薇甘菊新增分布情况,更新薇甘菊适生区预测;(2)对高适生区加强检疫,禁止从薇甘菊疫区调入植物,阻断传播源;(3)对中适生区开展巡查和监测,一旦发现薇甘菊入侵种群,立即除治。

参考文献

陈志云, 马红岩, 王玲, 李东文, 谢德志, 莫羨, 孔达卿, 2021. 广东中山市薇甘菊地理分布及适生区预测. 亚热带植物科学, 50(3): 222–226.

付小勇, 泽桑梓, 周晓, 季梅, 2015. 基于 MaxEnt 的云南省薇甘菊分布预测及评价. 广东农业科学, 42(12): 159–162.

郭燕青, 史梦竹, 李建宇, 傅建伟, 吴梅香, 2019. 基于 Maxent 模型的假臭草潜在分布区预测. 热带亚热带植物学报, 27(3): 250–260.

贾翔, 王超, 王润林, 徐才溢, 赵莹, 金慧, 刘丽杰, 牛丽君, 尹航, 2023. 基于 MaxEnt 模型的对开蕨在吉林省的潜在适生区预测. 中国野生植物资源, 42(3): 100–106.

姜明鑫, 钟文玉, 陈李林, 2022. 茶园重要捕食性天敌白斑猎蛛在中国的潜在适生区预测. 生态学报, 42(10): 4225–4235.

李灿, 2018. 濒危植物崖柏潜在分布区预测与生境时空变化定量研究. 硕士学位论文. 成都: 成都理工大学.

李鸣光, 张炜银, 王伯荪, 张军丽, 咎启杰, 王勇军, 2002. 薇甘菊种子萌发特性的初步研究. 中山大学学报(自然科学版), 41(6): 57–59.

林翠新, 廖庆文, 曾丽梅, 2003. 薇甘菊的研究综述. 广西林业科学, 32(2): 60–65.

- 陆双飞, 殷晓洁, 韦晴雯, 张超, 马东旭, 刘雪莲, 2020. 气候变化下西南地区植物功能型地理分布响应. *生态学报*, 40(1): 310–324.
- 邱罗, 杨志高, 陈伟, 熊启明, 于洋, 2010. 广州薇甘菊潜在空间分布预测分析. *中南林业科技大学学报*, 30(5): 128–133.
- 邵婉婷, 韩诗畴, 黄寿山, 刘文惠, 李开煌, 彭统序, 李丽英, 2002. 控制外来杂草薇甘菊的研究进展. *广东农业科学*, 1(1): 43–45.
- 王强, 陈贤兴, 周昕, 2022. “植物杀手”——薇甘菊. *大自然* (5): 70–73.
- 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.
- 王亚锋, 付志玺, 郭云霞, 陶振华, 马蓓, 郑跃鸣, 2022. 入侵性杂草糙叶果芥在中国的适生区预测及分析. *生物安全学报*, 31(4): 356–363.
- 温达志, 叶万辉, 冯惠玲, 蔡楚雄, 2000. 外来入侵杂草薇甘菊及其伴生种基本光合特性的比较. *热带亚热带植物学报*, 8(2): 139–146.
- 杨志香, 周广胜, 殷晓洁, 贾丙瑞, 2014. 中国兴安落叶松天然林地理分布及其气候适宜性. *生态学杂志*, 33(6): 1429–1436.
- 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 何奇瑾, 李荣平, 2013. 辽东栎林潜在地理分布及其主导因子. *林业科学*, 49(8): 10–14.
- 喻三鹏, 2022. 飞机草在贵州的生物学特性生态影响及适生区预测研究. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学.
- 喻三鹏, 田茂娟, 张念念, 邱建生, 周倩, 班启明, 陈又清, 2021. 入侵植物飞机草在贵州的适生区预测及风险分析. *西部林业科学*, 50(4): 125–130.
- 云英英, 范秋云, 史佑海, 2023. 基于最大熵模型的海南杜鹃在中国的潜在地理分布. *热带作物学报*: 1–11. [2023–10–23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.s.20230423.0915.002.html>.
- 咎启杰, 王勇军, 王伯荪, 廖文波, 李鸣光, 2000. 外来杂草薇甘菊的分布及危害. *生态学杂志*, 19(6): 58–61.
- 张海娟, 陈勇, 黄烈健, 倪汉文, 2011. 基于生态位模型的薇甘菊在中国适生区的预测. *农业工程学报*, 27(S1): 413–418, 420.
- 张炜银, 李鸣光, 王伯荪, 咎启杰, 王勇军, 2003. 外来杂草薇甘菊在不同群落中的种子生产特征. *武汉植物学研究*, 21(2): 143–147.
- 张彦静, 陈菁, 王晨彬, 斯琴, 谢锐, 马方舟, 2023. 气候变化条件下曲纹紫灰蝶在中国的潜在适生区预测. *生态学报*, 43(14): 1–13.
- 郑刘梦, 2018. 基于 MaxEnt 模型对董寨再引入朱鹮的生境适宜性评价. 硕士学位论文. 郑州: 河南师范大学.
- 曾宪锋, 2013. 薇甘菊在赣南的首次详实记录. *广东农业科学*, 40(1): 181–197.
- DORMANN C F, ELITH J, BACHER S, BUCHMANN C, CARL G, CARRÉ G, MARQUÉZ J R G, GRUBER B, LAFOURCADE B, LEITÃO P J, MÜNKEMÜLLER T, MCCLEAN C, OSBORNE P E, REINEKING B, SCHRÖDER B, SKIDMORE A K, ZURELL D, LAUTENBACH S, 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1): 27–46.
- IPOR I B, TAWAN C S, 1995. The effect of shade on leaf characteristics of *Mikania micrantha* (Compositae) and their influence on retention of imazapyr. *Agricultural Science*, 18(3): 163–168.
- PHILLIPS S J, DUDIK M, 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2): 161–175.
- STEVEN J P, ROBERT P A, ROBERT E S, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3/4): 231–259.
- XIE H, HAN Y, LI X, DAI W, SONG X, OLSEN K M, QIANG S, 2019. Climate-dependent variation in cold tolerance of weedy rice and rice mediated by *OsICE1* promoter methylation. *Molecular Ecology*, 29(1): 121–137.
- YAOJIE Y, PUYING Z, YANRUI S, 2019. The potential global distribution and dynamics of wheat under multiple climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, 688: 1308–1318.

(责任编辑:郭莹)