

基于MaxEnt模型预测中药材钩藤潜在适生区

王晓玉^{1*}, 赵可^{1*}, 宋林河², 郭甜雨¹, 苗文佳¹, 胡明丽^{1#}

¹湖北科技学院药学院, 湖北 咸宁

²云南大学生态与环境学院, 云南 昆明

收稿日期: 2025年4月25日; 录用日期: 2025年5月23日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

钩藤(*Uncaria rhynchophylla*)是一味重要的中药材, 具有重要的药用价值和经济价值。由于野生资源破坏严重、全球气候变化等问题, 钩藤的产量和质量不能完全满足市场对优质药材的需求。为促进钩藤资源的保护和可持续利用, 本研究通过MaxEnt软件与ArcGIS软件对钩藤在不同气候条件下全国范围内的适宜生境进行预测。结果表明, bio_17 (Driest quarterly precipitation)、bio_12 (Precipitation of wettest month)、elev (海拔高度)是影响钩藤分布的关键变量。当前气候情景下, 钩藤主要在20°N~35°N和105°E~120°E分布, 总适生区面积(包括中适生区和高适生区)为 $110.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。未来钩藤的适宜栖息地将向高纬度地区迁移, SSP126情景下, 其适宜生境逐渐增加; SSP585情景下, 其适宜生境也逐渐增加。研究结果将为钩藤的种植规划、土地资源管理和应对气候变化提供参考。

关键词

最大熵模型, 环境变量, 适宜生境, 物种分布, 钩藤

Prediction of Potential Suitable Habitats for the Medicinal Herb *Uncaria rhynchophylla* Using the Maximum Entropy (MaxEnt) Model

Xiaoyu Wang^{1*}, Ke Zhao^{1*}, Linhe Song², Tianyu Guo¹, Wenjia Miao¹, Mingli Hu^{1#}

¹School of Pharmacy, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

²School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming Yunnan

Received: Apr. 25th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

Uncaria rhynchophylla (Miq.) Miq. ex Havil is an important Chinese medicinal herb with significant

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王晓玉, 赵可, 宋林河, 郭甜雨, 苗文佳, 胡明丽. 基于 MaxEnt 模型预测中药材钩藤潜在适生区[J]. 农业科学, 2025, 15(5): 695-704. DOI: 10.12677/hjas.2025.155086

pharmacological and economic value. Its production and quality face challenges in meeting market demands for high-quality materials due to the severe depletion of wild resources and global climate change. To support its conservation and sustainable utilization, this study employed the maximum entropy (MaxEnt) model integrated with ArcGIS to predict its potential suitable habitats across China under varying climatic conditions. The results showed that key environmental variables influencing its distribution were identified as bio_17 (Driest quarterly precipitation), bio_12 (Precipitation of wettest month), and elev (elevation). Under current climatic scenarios, *U. rhynchophylla* is mainly distributed in 20°N~35°N and 105°E~120°E, with a total suitable habitat area (including moderately and highly suitable zones) of 1.109×10^6 km². In the future, the suitable habitat of *U. rhynchophylla* will migrate to higher latitudes, with a gradual increase in the suitable habitats under both SSP126 and SSP585 scenarios. These findings provide a reference for cultivation planning, land resource management, and climate change adaptation strategies for *U. rhynchophylla*.

Keywords

Maximum Entropy (MaxEnt) Model, Environmental Variable, Suitable Habitats, Species Distribution, *Uncaria rhynchophylla*

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

中药钩藤为茜草科植物钩藤 *Uncaria rhynchophylla* (Miq.) Miq. ex Havil、大叶钩藤 *Uncaria macrophylla* Wall.、毛钩藤 *Uncaria hirsuta* Havil.、华钩藤 *Uncaria sinensis* (Oliv.) Havil.或无柄果钩藤 *Uncaria sessilifructus* Roxb.的干燥带钩茎枝[1]。主要分布于广东、广西、贵州、湖南、湖北、江西、四川、陕西、安徽、浙江、福建等地。此外,钩藤还分布于日本等地,生长于山谷溪边的疏林或灌丛中,喜阳光及温暖湿润,耐旱、耐寒,怕涝[1]。

钩藤是一种常用中药,药用历史悠久,被广泛应用于中医药领域[2]。钩藤是广西壮族自治区在2021年确定的31种区域特色中药材之一,有多种药理作用[3],其成分的研究主要集中在生物碱类成分上(如钩藤碱)[4]-[6],钩藤碱在降压、保护神经、镇静、抗肿瘤、抗炎方面发挥重要的药理作用[7]-[9],且对多种疾病,包括心脑血管、癌症、哮喘等均具有潜在的治疗作用[10]-[12]。在过去10多年中,钩藤属植物在我国民间广泛应用,除传统药用带钩茎枝外,还多采用根及老茎药用,导致人为的资源破坏,有些地区的品种因逐年采挖,资源面临濒危。由于钩藤的购销逐年增加,一直供不应求,属生产收购不足、供应偏紧的品种。据全国中药资源普查统计,钩藤年需要量约90~100万公斤,野生资源蕴藏量约700万公斤。钩藤生长周期漫长,野生资源已不能满足市场长期大量的商品需求[13]。虽然目前钩藤的种植技术有所提高,但是还是存在种植点和品种选择缺乏科学指导以致资源浪费。因此,确定钩藤最适栖息地和优先保护区能够促进资源的有效利用和防止资源浪费。

近年来,最大熵模型(Maximum entropy models, MaxEnt)模型因其直观性、精度高、操作简便及解释力强等特点被广泛应用于物种潜在适生区的预测[14][15];将MaxEnt模型和ArcGIS软件结合使用,可以充分发挥两者的优势,进行更为深入和全面的生态学研究[16]。因此,本研究通过最大熵(MaxEnt)模型和ArcGIS软件预测气候变化下钩藤在中国范围内的潜在适生区分布,选择钩藤最适栖息地和优先保护区,为保护和持续利用钩藤资源提供理论基础。

2. 材料与方法

2.1. 钩藤分布数据

本研究所用钩藤的分布数据有以下 2 个来源：中国国家标准资源平台(<http://www.nsii.org.cn/>)、中国数字植物标本馆(<https://www.cvh.ac.cn/>)。从中获取钩藤在中国的分布点经纬坐标信息[17]-[21]，最终整理得到 356 个分布点，广西(92 个分布点)、江西(91 个分布点)、贵州(57 个分布点)、湖南(45 个分布点)、广东(28 个分布点)、福建(26 个分布点)，其余省份也有零星分布。为避免集群效应所致模型过拟合，利用 ArcGIS 10.4.1 将所收集数据以 10 k 设置缓冲区，去除叠置数据[22]，最终得到 200 个有效分布点。将分布点另存为 CSV 格式，用于后续分析[23]。

2.2. 钩藤自然数据环境

本文所用的自然环境数据包括气候数据、土壤数据和地形数据，来源为：1) 从全球气候数据库 WordClim (<https://www.worldclim.org/>) 下载海拔数据和气候数据，分别选取当前时期(1970~2000 年)气候数据和未来两种排放情景(RCP2.6 和 RCP8.5 下 2050 年和 2070 年)下的气候数据，每个时期 19 个气候变量。2) 土壤数据来源于“国家青藏高原科学数据中心”(<http://data.tpdac.ac.cn/>)，其中包括 11 个土壤数据。3) 地形数据是通过 ArcGIS 10.4.1 空间分析模块从海拔中提取坡度和坡向。共选取了 33 个独立的自然环境变量(表 1)进行研究。

Table 1. Thirty-three environmental variables

表 1. 33 个环境变量

变量	描述	变量	描述
bio_1	Annual mean temperature	bio_18	Precipitation of warmest quarter
bio_2	Mean diurnal range (mean of monthly (max temp-min temp))	bio_19	Precipitation of coldest quarter
bio_3	Isothermality ((Bio02/Bio07) * 100)	awc_class	Soil available water content
bio_4	Temperature seasonality (standard deviation * 100)	s_caco3	Topsoil calcium Carbonate
bio_5	Max temperature of warmest month	s_clay	Substrate-soil clay content
bio_6	Min temperature of coldest month	s_oc	Substrate-soil organic carbon
bio_7	Temperature annual range (Bi05-Bi06)	s_ph_h2o	Substrate-soil pH
bio_8	Mean temperature of driest quarter	s_sand	Sediment content in the subsoil
bio_9	Mean temperature of warmest quarter	t_caco3	Topsoil carbonate or lime content
bio_10	Mean temperature of coldest quarter	t_clay	Clay content in the upper soil
bio_11	Annual precipitation	t_oc	Topsoil organic carbon
bio_12	Precipitation of wettest month	t_ph_h2o	Topsoil pH
bio_13	Precipitation of driest month	t_sand	Sand content
bio_14	Precipitation seasonality (coefficient of variation)	aspect	Aspect
bio_15	Precipitation of wettest quarter	elev	Elevation
bio_16	Precipitation of driest quarter	slope	Slope
bio_17	Driest quarterly precipitation		

2.3. 数据处理

选择的33个自然环境变量间存在一定的相关性,应避免过度拟合。将自然环境数据导入 ArcGIS 10.4.1 中,坐标统一为 WGS-1984。利用数据管理工具,执行批量重采样命令,对各个来源的数据统一分辨率。通过转换工具,将 33 个自然环境变量全部转为“ASC”格式,添加筛选后钩藤的地理分布数据导入 MaxEnt 3.4.1 软件进行建模运算,随机选取 75%的数据作为训练集用于模型预测,其余 25%数据用于验证模型精度,模型重复运行 10 次,得到自然环境变量贡献度,并且通过刀切法对自然环境变量数据进行重检验,其他参数默认。利用 ArcGIS 10.4.1 软件对各变量图层进行多重共线性分析,检验各变量之间的相关性。结合各自然环境变量的贡献率和相关性,确定主要环境变量。

2.4. MaxEnt 模型构建与评估

本研究使用 MaxEnt 3.4.1 模型预测钩藤在中国的潜在分布。计算受试者工作特征曲线(ROC)下面积 (AUC)量化 MaxEnt 模型预测准确性,AUC 的取值范围为[0~1],AUC 值越接近 1,模型预测结果越精准,可信度越好。一般而言,当 $AUC \leq 0.6$ 时,认为模型预测结果失败;当 $0.6 < AUC \leq 0.7$ 时,模型预测结果较差;当 $0.7 < AUC \leq 0.8$ 时,模型的预测结果一般;当 $0.8 < AUC \leq 0.9$ 时,模型预测结果良好;当 $0.9 < AUC \leq 1.0$ 时,模型预测结果优秀[24] [25]。

2.5. 钩藤适生等级划分

MaxEnt 模型输出钩藤在中国范围内的 MTSPS,使用 ArcGIS 10.4.1 软件 ArcToolbox 的重分类(Re-classify)命令,根据最大训练敏感性加特异性(Maximum Test Sensitivity Plus Specificity Logistic Threshold, MTSPS)将钩藤的生境适宜性分布区划分为四个适生区等级(表 2)。

Table 2. Classification of suitable habitats
表 2. 适生区划分

重分类值	评价等级	重分类值	评价等级
0~MTSPS	非适生区	MTSPS~0.3	低适生区
0.3~0.5	中适生区	0.5~1	高适生区

3. 结果与分析

3.1. 模型预测结果

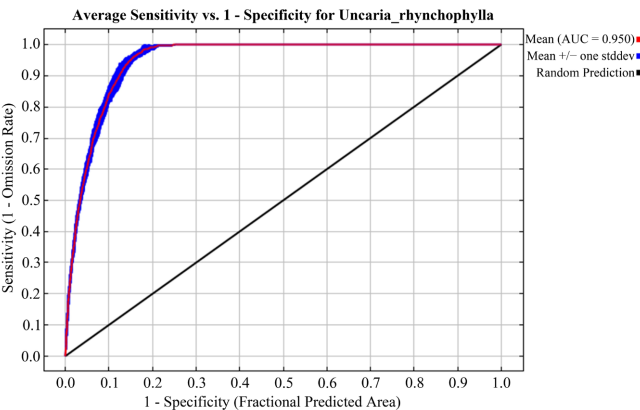


Figure 1. Receiver Operating Characteristic (ROC) curve of the MaxEnt model
图 1. MaxEnt 模型的 ROC 曲线

本研究的 ROC 曲线验证结果显示：自然环境影响下 AUC 值为 0.950。表明该模型的构建具有极高的准确性，可用于研究钩藤的潜在适生区(图 1)。

3.2. 环境因子分析

由表 3 可知，最高旱季度降水(bio_17)贡献率最高，达到 69.7%，其次是最潮湿月降水量(bio_12)，贡献率为 8.7%，海拔高度(elevation)、坡度(slope)、年温度范围(bio_7)、表层土壤有机层含量(t_oc)及下层土壤 pH(s_ph_h2o)的贡献率分别为 4.4%、3%、1.9%、1.9%、1.8%，其余环境因子的贡献率均未达到 1.5%，以上结果表明最高旱季度降水(Bio17)、最潮湿月降水量(bio_12)和海拔高度(elevation)是影响钩藤潜在适生区的主要环境因子，且最高旱季度降水(bio_17)是决定钩藤分布的最关键因子。

Table 3. Importance of dominant environmental variables in the MaxEnt model
表 3. MaxEnt 模型主导环境因子的重要性

变量	贡献百分比(%)	排列重要性(%)
bio_17	69.7	40.8
bio_12	8.7	5.8
elev	4.4	12.8
slope	3	2.2
bio_7	1.9	2.5
t_oc	1.9	1.4
s_ph_h2o	1.8	4
bio_10	1.3	11.7
aspect	1.2	1.6
bio_6	1.1	2.2
s_ph_h2o	1.1	1.7
s_clay	1	1.3
bio_3	0.7	2
s_oc	0.6	3.6
bio_15	0.6	0.5
t_ph_h2o	0.5	3.4
s_caco3	1.2	1.6
awc_class	0.3	0.3
bio_18	0.2	1.1
s_sand	0.2	1

为表征各环境因子对钩藤分布的重要性，我们采用折刀法检验主导环境因子对钩藤在中国适生区分布的影响程度(图 2)。结果表明，最高旱季度降水(bio_17)、最潮湿月降水量(bio_12)和海拔高度(elevation)对钩藤分布影响最大，说明以上 3 个环境因子相较其他因子拥有更多的有效信息。

综合来看，影响钩藤分布的主导环境因子为最高旱季度降水(bio_17)、最潮湿月降水量(bio_12)和海拔高度(elevation)。从而得出，降水、温度和海拔高度是影响钩藤分布的关键。

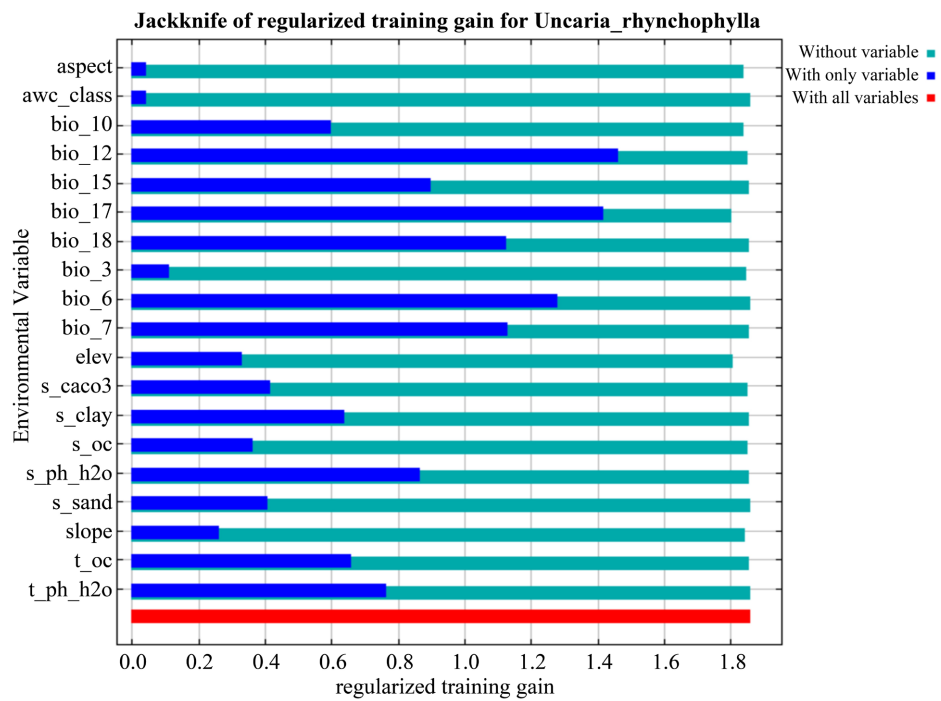


Figure 2. Jackknife test results of environmental factors for *U. rhynchophylla*
图 2. 钩藤环境因子折刀法检验

3.3. 当前气候下的分布预测

根据《中国植物志》记载, 钩藤主要分布于广东、广西、贵州、湖南、湖北、江西、四川、陕西、安徽、浙江、福建等地[26]。钩藤主要分布范围为 20°N~35°N 和 105°E~120°E, 包含中等和高等适生区, 总适生区面积为 $11.09 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占我国陆地表面面积的 11.55%; 高适生区面积为 $40.36 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占我国陆地表面面积的 4.2%; 低适生区面积为 $56.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占我国陆地表面面积的 5.91% (表 4)。现阶段, 钩藤总适生区分布比较集中, 主要位于我国华南、华中、华东地区, 与《中国植物志》记录的钩藤自然分布区基本一致。其中, 高适生区主要分布在广西、贵州、湖南、福建四省。中适生区沿着高适生区呈环绕分布, 主要涵盖广东、江西、湖北、浙江, 以及重庆东部、云南南部、安徽东南部地区。

Table 4. Statistics of suitable habitat area for *U. rhynchophylla* across different periods
表 4. 不同时期钩藤适生区面积统计

时期		不适生区		低适生区		中适生区		高适生区	
		面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	百分比 (%)	面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	百分比 (%)	面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	百分比 (%)	面积 ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	百分比 (%)
Current		792.29	82.53	56.81	5.92	70.55	7.35	40.36	4.20
2050S	SSP126	753.77	78.52	40.94	4.26	44.91	4.68	120.40	12.54
	SSP585	739.42	77.02	40.24	4.19	43.17	4.50	137.17	14.29
2090S	SSP126	751.05	78.23	44.39	4.62	52.77	5.50	111.79	11.65
	SSP585	700.24	72.94	33.50	3.49	35.10	3.66	191.16	19.91

注: 面积百分比均为各时期各适生区占我国陆地表面积($960 \times 10^4 \text{ km}^2$)的比值。

3.4. 未来气候下的分布预测

本研究共选取 4 个时期预测钩藤在中国的潜在分布, 根据 MaxEnt 模型的预测结果, 得到 2050s 和 2090s 两种情景下(SSP126、SSP585)的钩藤适宜生境分布图。

未来钩藤的适宜栖息地在原有的基础上向周围扩散, 通过对比两种气候情景(SSP126 与 SSP585)在 2050 年和 2090 年的适宜性分布, 揭示中国区域生态格局的演变特征: 中国南部(北纬 25°以南)始终维持红色高适宜区, 尤其在福建、广东沿海形成稳定核心带(适宜值 > 0.5); 而在 SSP585 情景下, 红色区域随时间显著北扩, 至 2090 年已延伸至华北平原, 并在山东丘陵等地形成新适宜斑块。这种“南稳北进”的空间模式, 印证了气候变暖对植物适生区迁移的驱动作用, 为生态保护优先区划提供重要依据。

图 3 显示了未来钩藤适宜生境面积及其生长情况: 在 SSP126 情景下, 钩藤适宜生境逐渐增加。SSP126-2050s 和 SSP126-2090s 总适生区面积分别增加

些许差异,因此在后续研究中,可优化 MaxEnt 模型参数设置并结合其他相关因素,使得预测结果更精确、完善。总之,本次研究最终结果经过 ROC 曲线精度检验,MaxEnt 模型 AUC 高达 0.952,说明本次模型效果好、精确度高,为钩藤宏观保护策略提供了一定的参考价值。

4.2. 影响适生区分布的主导环境因子

在植物生长中,植物的生存环境对于植物的环境胁迫影响巨大,其中水分和温度可能是非常重要的影响因素[30],海拔梯度也会影响植物的生长,海拔变化引起的温度、湿度和土壤肥力等变化可以影响植物的物质代谢、结构和功能等诸多方面,从而影响植物的生理生态、适应性等发生变化[31]。本研究结果显示,最高旱季度降水(bio_17)、最潮湿月降水量(bio_12)和海拔高度(elev)是钩藤潜在分布的主导环境因子。由此可见,钩藤的适生区分布受降水的影响尤为明显,其次是温度和海拔高度。以上研究发现与钩藤喜温暖、喜湿润、耐旱气候等特性相符[26] [32] [33]。

4.3. 气候变化对钩藤适生区的影响及资源保护

- [4] 闫壁松. 钩藤碱与异钩藤碱代谢的立体作用机制研究进展[J]. 中国医药导刊, 2024, 26(4): 374-377.
- [5] 柳威, 邓林华, 赵英强. 钩藤提取物及钩藤碱的药理研究进展[J]. 中药新药与临床药理, 2021, 32(6): 899-904.
- [6] 雷冰坚, 马健雄. 钩藤生物碱类化学成分研究进展[J]. 华西医学, 2014, 29(3): 592-594.
- [7] 张阳, 朱梦宇, 陈垒, 等. 钩藤碱治疗阿尔茨海默病的药理作用研究进展[J]. 中南药学, 2024, 22(8): 2149-2155.
- [8] 高晓宇, 丁茹, 王道平, 等. 钩藤化学成分及药理作用研究进展[J]. 天津医科大学学报, 2017, 23(4): 380-382.
- [9] 谭桂玉, 万凌云, 张坤, 等. 钩藤的药理作用及临床应用研究进展[J]. 广西科学, 2024, 31(1): 1-8.
- [10] 李海燕, 栗昭生, 赵龙, 等. 异钩藤碱调节 EGFR/FAK 信号通路对肝癌细胞增殖、迁移和 5-FU 耐药性的影响[J]. 药物评价研究, 2024, 47(6): 1267-1274.
- [11] 叶齐, 齐荔红. 钩藤的主要成分及生物活性研究进展[J]. 西北药学杂志, 2012, 27(5): 508-510.
- [12] 韦小凤, 杨旭红, 吴树宏. 钩藤治疗癫痫的主要作用机制研究进展[J]. 云南中医中药杂志, 2023, 44(4): 96-100.
- [13] 王宛. 我国钩藤药材资源现状调查[J]. 中国药师, 2008(11): 1368-1369.
- [14] Urbani, F., D'Alessandro, P., Frasca, R. and Biondi, M. (2015) Maximum Entropy Modeling of Geographic Distributions of the Flea Beetle Species Endemic in Italy (Coleoptera: Chrysomelidae: Galerucinae: Alticini). *Zoologischer Anzeiger*, **258**, 99-109. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2015.08.002>
- [15] 窦全慧, 陈程浩, 曾太乙亥, 等. 基于优化的 MaxEnt 模型预测龙胆科重要药用植物在青藏高原的生境适宜性研究[J/OL]. 草地学报: 1-13. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-CDXU2025031700E.htm>, 2025-03-25.
- [16] Xu, J., Wu, Y., Wang, S., Xu, Y., Du, C., Rohani, E.R., et al. (2024) Predicting the Potential Distribution of *Arisaema heterophyllum* in China under Current and Future Climate Change Based on ArcGIS and MaxEnt Model. *Plant Biosystems*, **158**, 1326-1334. <https://doi.org/10.1080/11263504.2024.2407813>
- [17] 薛浩博, 刘米利, 李林山, 等. 基于 MaxEnt 模型的甘草潜在适生区预测[J]. 陕西林业科技, 2024, 52(3): 19-25.
- [18] 张鸿辉, 舒旭, 余新林, 等. 基于 MaxEnt 模型的细尤犀金龟在中国的适生分布区预测[J]. 西南农业学报, 2024, 37(7): 1601-1610.
- [19] 姜霞, 张月荣, 赵俊禧, 等. 基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 的山西远志适生区预测研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2024, 31(7): 1-7.
- [20] 陈紫葳, 杜燕, 郭静霞, 等. 基于 MaxEnt 与 ArcGIS 的中国角茴香生态适宜性区划研究[J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(1): 14-18.
- [21] 孙贝贝, 汤璐璐, 王俐桦, 等. 基于 MaxEnt 模型及 ArcGIS 预测浙贝母适生区分布[J]. 亚太传统医药, 2023, 19(5): 159-164.
- [22] 林鑫, 李成义, 魏小成, 等. 基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 的红芪生境适宜性评价[J]. 中成药, 2023, 45(12): 4005-4010.
- [23] 裴茹, 石召华, 徐雷, 等. 基于最大熵模型和 ArcGIS 的夏枯草生境适宜性评价[J]. 中国中医药信息, 2024, 31(11): 1-6.
- [24] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J]. 生物多样性, 2007(4): 365-372.
- [25] 张童, 黄治昊, 彭杨靖, 等. 基于 Maxent 模型的软枣猕猴桃在中国潜在适生区预测[J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4921-4928.
- [26] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国园植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 255.
- [27] Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D. and Kadmon, R. (2007) A Comparative Evaluation of Presence-Only Methods for Modelling Species Distribution. *Diversity and Distributions*, **13**, 397-405. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00346.x>
- [28] Tarroso, P., Carvalho, S.B. and Brito, J.C. (2012) Simapse—Simulation Maps for Ecological Niche Modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 787-791. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00210.x>
- [29] 郭飞龙, 徐刚标, 卢孟柱, 等. 基于 MaxEnt 模型分析胡杨潜在适宜分布区[J]. 林业科学, 2020, 56(5): 184-192.
- [30] 宋昀地. 植物生长发育逆境胁迫分析[J]. 广东蚕业, 2019, 53(11): 24-25.
- [31] 李亮, 王利, 王鑫, 等. 浅析海拔梯度对植物生长发育的影响[J]. 防护林科技, 2016(5): 67-68.
- [32] 李金玲, 赵致, 龙安林, 等. 贵州野生钩藤生长环境调查研究[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(4): 58-60.
- [33] 杨胜伟. 环境条件对钩藤生长发育的影响[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [34] Yang, Y., He, J., Liu, Y., Zeng, J., Zeng, L., He, R., et al. (2023) Assessment of Chinese Suitable Habitats of *Zanthoxylum*

- nitidum* in Different Climatic Conditions by Maxent Model, HPLC, and Chemometric Methods. *Industrial Crops and Products*, **196**, Article ID: 116515. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116515>
- [35] Zhan, P., Wang, F., Xia, P., Zhao, G., Wei, M., Wei, F., *et al.* (2022) Assessment of Suitable Cultivation Region for *Panax notoginseng* under Different Climatic Conditions Using Maxent Model and High-Performance Liquid Chromatography in China. *Industrial Crops and Products*, **176**, Article ID: 114416. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114416>
- [36] Wang, Y., Zhang, L., Du, Z., Pei, J. and Huang, L. (2019) Chemical Diversity and Prediction of Potential Cultivation Areas of Cistanche Herbs. *Scientific Reports*, **9**, Article No. 19737. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56379-x>
- [37] Zhang, F., Liang, F., Wu, K., Xie, L., Zhao, G. and Wang, Y. (2024) The Potential Habitat of *Angelica dahurica* in China under Climate Change Scenario Predicted by Maxent Model. *Frontiers in Plant Science*, **15**, Article 1388099. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1388099>
- [38] Shen, T., Yu, H. and Wang, Y. (2021) Assessing the Impacts of Climate Change and Habitat Suitability on the Distribution and Quality of Medicinal Plant Using Multiple Information Integration: Take *Gentiana rigescens* as an Example. *Ecological Indicators*, **123**, Article ID: 107376. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107376>
- [39] Cheng, J., Guo, F., Wang, L., Li, Z., Zhou, C., Wang, H., *et al.* (2024) Evaluating the Impact of Ecological Factors on the Quality and Habitat Distribution of *Lonicera japonica* Flos Using HPLC and the MaxEnt Model. *Frontiers in Plant Science*, **15**, Article 1397939. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397939>