

· 中药资源 ·

基于全球气候数据和MaxEnt模型的
辣木全球气候适宜区研究[△]景志贤¹, 李梦¹, 张小波^{1*}, 汪娟^{1,2}, 史婷婷¹, 朱寿东¹, 王慧¹, 郭兰萍¹

1. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700;

2. 长春中医药大学 药学院, 吉林 长春 130117

[摘要] 目的: 研究辣木在全球的潜在气候适宜区划。方法: 基于全球物种多样性信息数据库、实地调研、文献收集等共收集 960 条有效数据, 综合全球气候数据库的 68 组生态影响因子, 通过生态位最大信息熵 (MaxEnt) 模型研究辣木在全球和中国的潜在气候适宜区。结果: 辣木在全球的气候分布概率>50% 的区域有拉丁美洲、非洲中部及东部沿海区域、亚洲的东南亚地区及澳大利亚北部沿海地区; 在中国范围内的气候分布概率>50% 的区域为海南中南部, 分布概率为 30%~50% 的区域主要有广东、广西、云南、福建的部分地区。结论: 气候适宜性区划与《中国植物志》和《Flora of China》中描述的范围基本一致, 可以为辣木在全球范围内的野生和栽培资源调查、保护和可持续发展提供参考。

[关键词] 辣木; 最大信息熵模型; 全球气候适宜区

[中图分类号] R282 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2021)08-1352-05

doi: 10. 13313/j. issn. 1673-4890. 20200403005

Global Climatic Region Suitable for *Moringa oleifera*: An Explanation Based on Global Climate
Data and MaxEnt ModelJING Zhi-xian¹, LI Meng¹, ZHANG Xiao-bo^{1*}, WANG Juan^{1,2}, SHI Ting-ting¹, ZHU Shou-dong¹, WANG Hui¹, GUO Lan-ping¹1. State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica,
China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;

2. School of Pharmaceutical Sciences, Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China

[Abstract] **Objective:** To study the potential climatic region suitable for *Moringa oleifera* worldwide. **Methods:** A total of 960 valid data were collected from Global Biodiversity Information Facility (GBIF), field investigation findings, and literature reports and 68 groups of ecological impact factors from the Global Climate Data (<http://www.worldclim.org/version2>). Then the potential climate regions suitable for *M. oleifera* in the world and China were modeled using the maximum entropy (MaxEnt) approach. **Results:** The distribution probability of *M. oleifera* was more than 50% in Latin America, coastal regions of central and eastern Africa, Southeast Asia, and northern coastal region of Australia. In China, the distribution probability was more than 50% in central and southern Hainan and 30%-50% in Guangdong, Guangxi, Yunnan, and Fujian. **Conclusion:** The results of this study are basically consistent with the scope described in both Chinese and English editions of *Flora of China*, which has provide a scientific basis for the investigation, protection, and sustainable development of *M. oleifera* in the world.

[Keywords] *Moringa oleifera* Lam.; MaxEnt model; global climate suitable region

[△] **[基金项目]** 国家重点研发计划项目 (2017YFC1700701); 中央本级重大增减支项目 (2060302); 科技基础性工作专项 (2013FY114500); 云南省科技计划专项 (2017ZF004); 国家中医药管理局委托项目 (GZY-KJS-2018-004); 国家人口与健康科学数据共享服务平台项目 (NCMI-SL-201806); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-21); 中国中医科学院中药资源中心自主选题项目 (ZZXT201909)

^{*} **[通信作者]** 张小波, 研究员, 研究方向: 中药区划、中药资源信息化; Tel: (010) 64081790, E-mail: jack110007@163.com

辣木 *Moringa oleifera* Lam. 为辣木科辣木属植物, 乔木, 高3~12 m, 树皮软木质, 枝有明显的皮孔及叶痕, 小枝有短柔毛, 根有辛辣味^[1], 现广植于亚洲和非洲热带地区。研究表明, 辣木的主要成分包括氨基酸类化合物和黄酮类衍生物等, 具有降血压、降血糖、抗氧化、抗菌、抗肿瘤、免疫调节等活性^[2]。

2012年11月, 辣木被批准为国家新资源食品, 推动了辣木在我国开发利用^[3-5], 为辣木产业的进一步发展夯实了基础。但目前对辣木的研究报道主要集中在提取物、化学成分等方面, 其全球资源分布及生态适宜性区划的研究鲜有报道。为了避免出现盲目引种、扩种等问题, 研究辣木在全球范围内潜在气候适宜性区划及其生态环境影响因子特征对辣木的科学引种及可持续发展具有重大意义。本研究利用最大信息熵 (MaxEnt) 模型和地理信息系统 (GIS) 技术, 通过全球生物多样性信息 (GBIF) 数据库、实地调研和文献整理, 收集辣木分布信息, 结合生态环境等相关影响因子, 对辣木地理分布进行区划, 探索适合辣木生长的气候适宜区, 为辣木人工引种栽培及选址、提高辣木质量和产量、实现辣木产业可持续发展提供参考。

1 数据来源及方法

1.1 数据来源

辣木分布部分数据来源于 GBIF 数据库 (<http://www.gbif.org/>), 参考了部分文献数据、实地调查数据, 共计960条数据。实地调查数据主要利用全球定位系统 (GPS) 野外采集终端获取采样地经纬度和海拔。气候数据来自全球气候数据网站 (<http://www.worldclim.org/version2>), 主要是数字高程 (DEM) 数据、19个气候变量数据、12组降水数据、12组太阳辐射数据、12组平均气温、12组水蒸气压数据等共68组数据。该数据库的分辨率为1 km², 是1970—2000年全球已有的气候站点数据采用经度、纬度和海拔三维地理空间进行插值。

1.2 模型构建和评价

MaxEnt 模型是美国学者 Phillips 等基于 MaxEnt 原理, 利用 JAVA 语言构建的模型工具。该模型将已知的物种分布信息导入工具中并关联其相关的生态环境信息, 根据物种的生态环境数据, 预测物种的

潜在分布概率。其操作简单、运算速度快, 预测结果方便解读^[6]。模型预测结果评价采用接收者操作特征 (ROC) 工作曲线和曲线下面积 (AUC) 进行模型精度评测^[7]。AUC 区间为[0~1], 越大表示模型判断力越强, AUC<0.6 为失败, 0.6≤AUC<0.7 为较差, 0.7≤AUC<0.8 为一般, 0.8≤AUC<0.9 为较好, 0.9≤AUC<1 为好^[8]。

1.3 适宜区划分

辣木生长和生存对生态环境的要求都有一定的范围和限度, 超越了耐性限度就会影响其生长或生存, 如在耐性限度内就会形成一个适宜辣木生长和生存的范围^[9]。MaxEnt 模型输出结果为基于气候影响因子的全球范围内的分布概率, 输出结果为0~1, 越接近1说明分布概率越高。利用 ArcGIS 软件对 MaxEnt 模型的结果进行叠加分析和综合制图, 进行适宜区划分。

1.4 数据预处理

利用 ArcGIS 软件对气候数据进行格式转换, 得到相同分辨率大小的数据, 格式为 .asc。将采样点数据进行处理, 保留经纬度等关键有效字段, 并保存为 .csv 格式。

1.5 MaxEnt 模型配置

将处理好的分布点数据及生态环境因子, 导入到 MaxEnt 模型中, 设置模型参数及输出目录。其中, 输出格式为 Logistic, 测试集样本为总体样本的15%, 迭代次数为1×10⁶, 设置 ROC 曲线, 模型默认设置 ROC 曲线和刀切法 (jackknife) 检验权重。

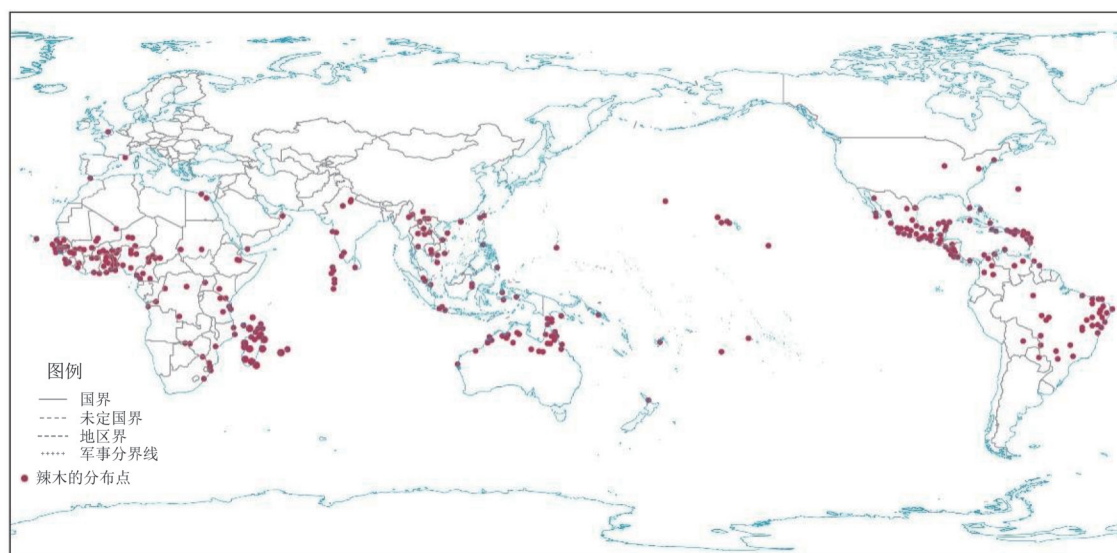
2 结果

2.1 辣木分布样本数据

将预处理好的 .csv 格式数据导入到 ArcGIS 软件, 通过综合制图工具制作辣木全球样本分布图 (图1)。

2.2 辣木区划结果的精度评价

通过 MaxEnt 模型计算得到辣木的分布概率预测模型 ROC 曲线 (图2)。其中, 训练集的 AUC 为0.953, 测试集的 AUC 为0.945, 表明该模型计算效果较好, 由其计算出的辣木全球潜在气候生态适宜区分布概率具有较高的可信度和准确度。



注：审图号为GS (2020) 5084号。

图1 辣木全球样本分布

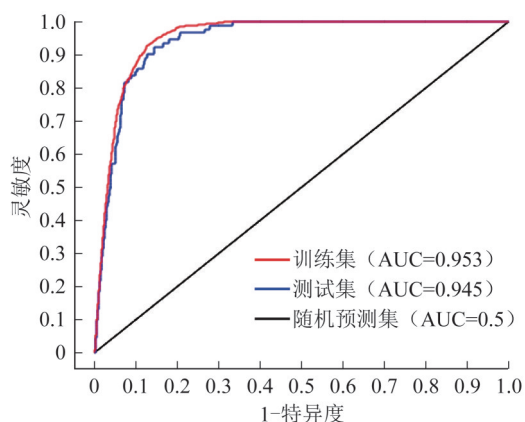


图2 MaxEnt模型预测ROC曲线

2.3 影响辣木分布的气候因子贡献率

通过MaxEnt模型的计算得出不同气候影响因子对辣木生长潜在分布的总贡献率。水蒸气压总体贡献率最高为70.8%，9—11月的水蒸气压影响最大，占总水蒸气压贡献率的89.97%。其次，太阳辐射贡献率为14.7%，11月的太阳辐射贡献率最大，占总太阳辐射的49.66%。气候环境变量贡献率为4.4%，温度季节性变化标准差占总气候环境变量的63.63%，降水量贡献率为2.9%，平均气温贡献率为2.7%。其中，贡献率>0.5%的气候因子见表1，为总贡献率的94.7%。

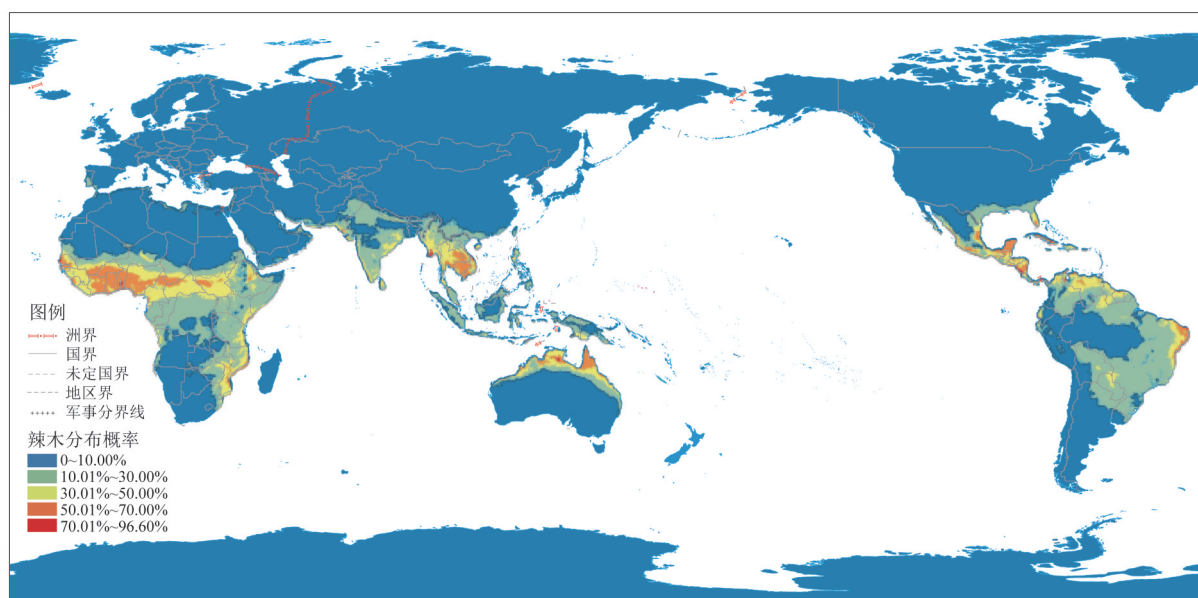
2.4 全球辣木潜在分布区

通过MaxEnt模型计算得出辣木在全球气候影

表1 对辣木生长潜在分布贡献率>0.5%的气候因子

序号	气候因子	贡献率/%
1	10月水蒸气压	27.9
2	11月水蒸气压	27.8
3	9月水蒸气压	8.0
4	11月太阳辐射	7.3
5	8月水蒸气压	5.0
6	温度季节性变化标准差	2.8
7	1月太阳辐射	2.6
8	2月太阳辐射	2.5
9	4月太阳辐射	1.6
10	5月水蒸气压	1.5
11	10月降水量	0.8
12	4月降水量	0.8
13	3月平均温度	0.8
14	5月平均温度	0.8
15	1月降水量	0.7
16	7月太阳辐射	0.7
17	11月降水量	0.6
18	11月平均温度	0.6
19	4月水蒸气压	0.6
20	最湿月降水量	0.6
21	2月平均温度	0.5
22	最暖季度平均温度	0.5
23	最湿季度降水量	0.5

响因子中的分布概率为0~0.966。根据专家经验法将计算结果进行归一化处理，以20%为间隔划分为<10.00%、10.01%~30.00%、30.01%~50.00%、50.01%~70.00%、>70.01%共5个级别（图3）。



注：审图号为GS（2020）5084号。

图3 基于MaxEnt模型的辣木全球气候适宜潜在分布概率

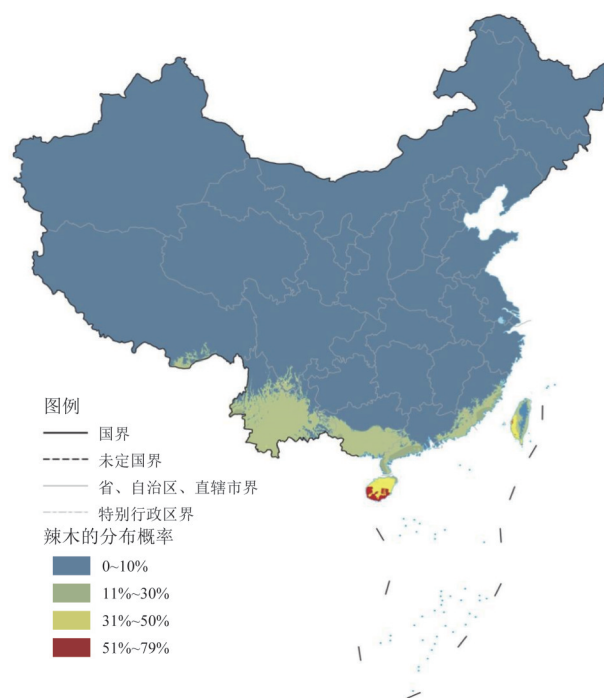
由图3可知，辣木在全球气候条件下的潜在适宜区主要包括亚洲的中国、印度、老挝、缅甸、泰国等国家的部分地区；北美洲的墨西哥、古巴、尼加拉瓜、牙买加等国家的部分地区；南美洲的委内瑞拉、巴西等国家的部分地区；非洲的塞内加尔、塞拉利昂、布基纳法索、加纳、科特迪瓦、多哥、贝宁、尼日利亚、乍得、马达加斯等国家的部分地区；大洋洲的澳大利亚、巴布亚新几内亚等国家的部分地区。

2.5 辣木中国分布概率

通过ArcGIS软件将全球气候潜在分布概率结果和中国行政区划进行叠加分析，得到辣木在中国的分布概率（图4）。其中，分布概率最高值为79%，以20%为间隔分别划分为<10%、11%~30%、31%~50%、>51%。辣木分布概率>51%的区域主要在海南南部；分布概率为30%~50%的区域主要在海南中部、台湾西部和云南部分区域；分布概率为11%~30%的区域主要在云南、广西中南部、广东西南和东南部、福建东南沿海和台湾沿海地区。

3 讨论

本研究基于全球气候数据库及MaxEnt模型，通过ArcGIS软件等工具，得出辣木在全球和中国潜在



注：审图号为GS（2020）5084号。

图4 辣木在中国的气候适宜潜在分布区划

气候适宜区。本研究的气候适宜性区划与《中国植物志》和《Flora of China》中描述的范围基本一致^[10]，可以为辣木在全球范围内野生和栽培资源的调查、保护和可持续发展提供参考。

中药材的品质和药效与其生长的气候环境密切相关。辣木作为新中药资源，其产业发展一直受到

关注, 自引种成功后种植面积和产量变化波动较大, 迫切需要研究辣木的潜在气候适宜区, 为辣木科学化、精细化种植管理及引种栽培提供依据。

参考文献

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志: 第31卷第4册[M]. 北京: 科学出版社, 1993:6.
- [2] 许敏, 赵三军, 宋晖, 等. 辣木的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(23):291-301.
- [3] 肖伟, 于凡, 许利嘉, 等. 海上丝绸之路上的重要资源——辣木叶茶[J]. 中国现代中药, 2019, 21(7): 851-854
- [4] 郭利群, 冯凤兆, 吴琳, 等. 辣木的药用价值及应用研究[J]. 热带农业科学, 2015, 35(6):11-17.
- [5] 中华人民共和国卫生部. 关于批准蛋白核小球藻等4种新资源食品的公告[J]. 中国食品添加剂, 2013(1): 227-228.
- [6] PHILLIPS S J, DUDIK, M, SCHAPIRE R E. Modeling of species distributions with maxent: New extensions and a comprehensive evaluation [J]. Ecography, 2008, 31 (2): 161-175.
- [7] 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, 15(4): 365-372.
- [8] 景志贤, 张小波, 汪娟, 等. 基于MaxEnt模型玛咖的全球潜在气候适宜区研究[J]. 中国现代中药, 2020, 22(12): 1957-1961.
- [9] 张小波, 郭兰萍, 周涛, 等. 关于中药区划理论和区划指标体系的探讨[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(17):2350-2354.
- [10] Flora of China Editorial Committee. Flora of China: Vol. 15 [M]. Beijing: Science Press & Saint Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1996:298.

(收稿日期: 2020-04-03 编辑: 戴玮)