

预测气候变化对野生茉莉花在中国潜在分布的影响

吴利平¹, 商云飞², 姜壮³, 王晓丽⁴, 饶文武⁵, 初楚⁵, 毛贇来⁵, 潘江灵⁶

(1. 建德市林业局, 浙江 建德 311600; 2. 浙江农林大学 马克思主义学院, 浙江 杭州 311300; 3. 贵州省湄潭县林业局, 贵州 湄潭 564100; 4. 浙江农林大学 暨阳学院, 浙江 诸暨 311800; 5. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 6. 浙江省林业资金管理中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 本研究基于 ArcGIS 软件与 MaxEnt 模型, 根据 85 个野生茉莉花 *Jasminum sambac* 分布记录和 19 个气候因子, 对其当前和未来的生态位进行模拟。结果显示: 受试者工作特征 (Receiver operating characteristic, ROC) 曲线下面积 (Area under curve, AUC) 为 0.982, 表明模型的预测准确度极高; 野生茉莉花当前分布主要受温度 (年平均温度、温度变化方差、最干季度均温、最暖季度均温) 和降雨 (最湿降水量、最热季平均降水量) 的影响。野生茉莉花当前 (1950—2000 年) 的高度适生区主要集中在广东西南部、云南、四川和重庆接壤处、湖南北部、河南南部、安徽中部和江苏中部等地; 未来 (2050 年) 随着气候的变化, 野生茉莉花的适生区将向中国西南、东南地区迁移; 野生茉莉花的适生区面积将缩小, 但是高度适生区面积将增大, 浙江和福建将变为高度适生区; 野生茉莉花高度适生区在四川的分布面积将扩大, 但在江苏、广东和广西的分布面积将减小。本研究丰富了野生茉莉的生物地理学内容, 为其野生资源的保护工作提供了理论指导。

关键词: MaxEnt 模型; 气候因子; 野生茉莉花; 适生区面积

中图分类号: S162.5; S685.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2024) 02-0022-06

Effect of Climate Factors on Potential Distribution of *Jasminum sambac* in China

WU Liping¹, SHANG Yunfei², JIANG Zhuang³, WANG Xiaoli⁴, RAO Wenwu⁵, CHU Chu⁵, MAO Yunlai⁵, PAN Jiangling⁶

(1. Jiande Forestry Bureau of Zhejiang, Jiande 311600, China; 2. School of Marxism, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 3. Meitan Forestry Bureau of Guizhou, Meitan 564100, China; 4. Jiyang College of Zhejiang A & F University, Zhuji 311800, China; 5. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 6. Zhejiang Forestry Fund Administration, Hangzhou 310020, China)

Abstract: Based on ArcGIS and MaxEnt model, 85 distribution records of wild *Jasminum sambac* and 19 climate variables were used to simulate its current and future niches. The results showed that the area under receiver operating characteristic curve was 0.982, indicating an extremely high accuracy of the model prediction. The current distribution of *J. sambac* was mainly affected by temperature (mean annual temperature, ANOVA of temperature change, mean temperature in the driest season, mean temperature of the warmest season) and precipitation (in the wettest season and the warmest season). Under the current climate condition, the optimum habitat of *J. sambac* mainly distributes in the southwestern Guangdong, the borders of Yunnan, Sichuan and Chongqing, northern Hunan, southern Henan, central Anhui, and central Jiangsu. In the future (2050) with climate

Key words: MaxEnt model; climate variables; wild *Jasminum sambac*; the area of suitable habitat

收稿日期: 2022-05-12; 修回日期: 2023-01-09

作者简介: 吴利平, 林业工程师, 主要从事林业有害生物防治工作; E-mail: 21652249@qq.com。通信作者: 潘江灵, 林业工程师, 从事林业项目管理、林业资金管理; E-mail: 363721161@qq.com。

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在其第四次的评估报告中指出，在人类活动以及各种自然因素的影响下，全球气温将呈现增长趋势，至 21 世纪末年均温将增加 1.1 ~ 6.4 ℃^[1-2]。气候的变化将会直接影响世界各地的降雨、潜在蒸散以及热辐射等气候变量，间接影响生态系统^[3]。研究表明，全球气候变暖造成物种地理分布的变化、植被生存带的变动以及适宜生存范围的变化^[4-5]。面对全球气候变暖现状，对物种潜在地理分布的预测显得更为重要。这不仅涉及到生态学、生物学以及生物地理学等多个领域的科学理论^[6-7]，也为保护生物多样性提供科学的理论依据。

茉莉花 *Jasminum sambac* 又称茉莉，是木犀科 Oleaceae 素馨属 *Jasminum* 直立或攀援灌木^[8]。野生茉莉花在世界范围内主要分布于亚热带以及温带地区，我国的浙江、福建、广东、四川、云南、台湾等大部分南方地区都有大量分布^[9]。茉莉花除了具有较高的观赏价值外，其价值还体现在经济以及药用两个方面^[10-12]。研究发现，茉莉花的根和叶可治目赤肿痛、止咳化痰，花具有抗抑郁、降血糖、抗菌消炎、口腔护理等作用；用茉莉花的花瓣制成的各种饮品和食品也深受广大顾客的喜爱；其外观秀美、花香独特也是园林造景和城市绿地建设中优先考虑的植物品种^[13-15]。近年来，在人为以及自然环境的双重因素下，野生茉莉花植株的数量开始急剧下降，其中人为的过度开采是主要因素，直接造成茉莉花的地域分布呈现片段式，野生茉莉花濒临灭绝状态。气候变化直接影响到生物物候期以及生物地理分布的改变，甚至会导致物种的灭绝速度加快^[16]。因此，充分认识并掌握气候变化条件下物种地理分布特征及变化趋向，制定相应的保护策略对野生资源及其生物多样性的保护尤为重要。

以往对茉莉花的研究多集中在形态学、化学成分和药理作用等方面^[17-19]。对野生茉莉花的分布模拟缺乏研究，本研究使用 MaxEnt 模型，对野生茉莉花的当前（1950—2000 年）及未来（2050 年）潜在分布进行模拟，分析了其主导气候因子，为其野生资源的保护工作提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品数据

野生茉莉花的地理分布数据来源于中国数字植物标本馆（<https://www.cvh.org.cn>）和国家标本平台（<http://www.nsii.org.cn>），通过谷歌地图（<http://ditu.google.cn>）获取经纬度，删除重复数据和数据之间差值小于 0.4 的数据，最终获得 85 个野生茉莉花的地理分布数据，并将数据进行整理保存至 Office Excel 文件中（.csv 格式）^[20]。

1.2 环境数据

从世界气候数据网站（www.worldclim.org）获取当前（1950—2000 年）和未来（2050 年）2 个时间段的气候数据变量，采用通用气候系统模式 CCSM4 生成气候数据，数据的分辨率为 2.5'。本文通过 ArcGIS 软件提取了 11 个温度数据和 8 个降雨数据，共 19 个气候因子^[21]（表 1）。

表 1 19 个环境变量
Tab.1 Description of 19 climate variables

变量	描述	变量	描述
bio1	年平均温度(Annual mean temperature)	bio11	最冷季度均温(Mean temperature of the coldest quarter)
bio2	月均温范围(Mean monthly temperature range)	bio12	年均降水量(Annual precipitation)
bio3	昼夜温差与年温差比值 (Isothermality)	bio13	最湿月降水量(Precipitation of wettest month)
bio4	温度变化方差(Temperature seasonality)	bio14	最干月降水量(Precipitation of driest month)
bio5	最热月份最高温(Max temperature of warmest month)	bio15	湿度变化方差(Precipitation seasonalityCoefficient variation)
bio6	最冷月份最低温(Min temperature of the coldest month)	bio16	最湿季降水量(Precipitation of wettest quarter)
bio7	年温度变化范围(Temperature annual range)	bio17	最干季降水量(Precipitation of driest quarter)
bio8	最湿季度均均温(Mean temperature of wettest quarter)	bio18	最热季平均降水量(Precipitation of warmest quarter)
bio9	最干季度均温(Mean temperature of driest quarter)	bio19	最冷季平均降水量(Precipitation of coldest quarter)
bio10	最暖季均温(Mean temperature of the warmest quarter)		

1.3 气候变量相关性检测

将影响野生茉莉花地理分布数据和分布的主要气候因子的统计数据嵌入 Max Ent 模型进行模拟，得到影响

其地理分布的主要因子,经计算得到在各主要因子影响下形成的野生茉莉花地理分布格局贡献率;将相对贡献率高的前五个环境变量数据(bio18、bio4、bio1、bio15、bio2)导入 SPSS 对环境变量进行相关性分析比较^[22-23]。

1.4 最大熵模型的构建和准确性评价

将环境因子和野生茉莉花的地理分布数据导入 Max Ent 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/Maxent>) 软件中,进行模型运算。参数设置如下:采用 25%的数据作为测试集,75%的数据作为训练集,使用交叉验证法。具体而言,将物种分布数据随机均分为 10 份,每次选取其中 1 份作为测试集,将剩余的 9 份作为训练集,重复运行 10 次,使得数据利用率较高。迭代次数设置为默认的 500 次,最大背景点数量为 10 000 个,其余设置均采用默认值。最终获得的 ASCII 结果文件为 10 次重复运行的平均值^[24]。导入 ArcGIS 10.2 软件后,结合空间分析工具中的重分类命令,采用自然间断点分级法将适宜度分为 5 个等级^[25],包括不适宜生境、低度适宜生境、中度适宜生境、中高度适宜生境和高度适宜生境,从而得到野生茉莉花在中国的潜在地理分布区。使用受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)时,将预测结果的每个值作为可能的判断阈值,计算相应的特异度和灵敏度,以评估模型的准确性。由于判断阈值不影响 ROC 曲线下的面积值(AUC),因此 AUC 被认为是目前最佳的模型预测准确度评价指标^[26-27]。AUC 值在 0~0.5 之间表示模型预测效果较好,在 0.8~0.9 之间表明预测效果好,大于 0.9 表明模型预测效果极好^[28]。

2 结果与分析

2.1 结果模拟的准确性

利用 ROC 曲线分析法对野生茉莉花 MaxEnt 模型预测进行精度检验,曲线下得到的面积为 AUC 值。野生茉莉花的 AUC 数值为 0.982(图 1),该数值远大于随机预测值 0.5,表明 MaxEnt 模型可用来预测野生茉莉花的潜在分布区,准确性极好。

2.2 影响野生茉莉的潜在地理分布的主导环境因子分析

贡献率最高的三个变量依次为最热季平均降水量(bio18)、温度变化方差(bio4)和年平均温度(bio1),分别为 56.3%、20.1%和 7.4%,三者总和为 83.8%,其余变量贡献率总和仅为 16.2%,说明贡献率大部分来源于 bio18、bio4 和 bio1 这 3 个变量(表 2)。

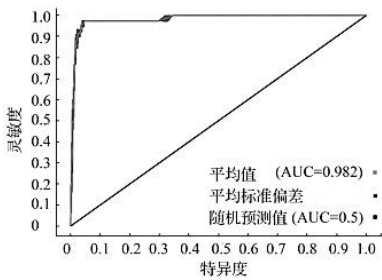


图 1 野生茉莉花 MaxEnt 模型的接受者操作特征曲线
Fig. 1 ROC curve of MaxEnt model of *J. sambac*

表 2 用于模型预测的环境变量
Tab. 2 Climate variables in the model

环境变量	野生茉莉花		环境变量	野生茉莉花	
	贡献率/%	置换重要值/%		贡献率/%	置换重要值/%
bio1	7.4	0	bio11	0.3	16.9
bio2	4.1	1	bio12	0.5	0
bio3	0.1	0	bio13	0.5	1.3
bio4	20.1	5.6	bio14	0.3	0
bio5	0.2	1	bio15	4.4	0.3
bio6	0	0	bio16	0	0
bio7	0.1	1.1	bio17	0.4	0.7
bio8	3.0	0	bio18	56.3	62.6
bio9	0.5	0	bio19	0.2	0.5
bio10	1.7	8.9	总计	100	100

置换重要值最高的 3 个变量是最热季平均降水量(bio18)、最冷季度均温(bio11)和最暖季均温(bio10),

分别是 62.6%、16.9%、8.9%，三者总和为 88.4%。刀切检验结果显示，在仅使用单独变量时，最热季平均降水量（bio18）正则化训练增益得分最高，最干季度均温（bio9）和最湿月降水量（bio13）的正则化训练增益得分较高（图 2）。综合来看，影响野生茉莉花潜在地理分布的主导环境因子为温度（bio1、bio4、bio9、bio10）和降雨（bio13、bio18）。

根据主导环境变量的响应曲线，可以得到适宜野生茉莉花生长的年平均温度的范围为 13 ~ 22 ℃，温度变化方差的范围为 400 ~ 7 000，最干季度均温的范围为 1 ~ 14 ℃，最暖季度均温的范围为 24 ~ 29 ℃，最湿月降水量的范围为 200 ~ 300 mm，最热季度降水量的范围大于 480 mm（图 3）。

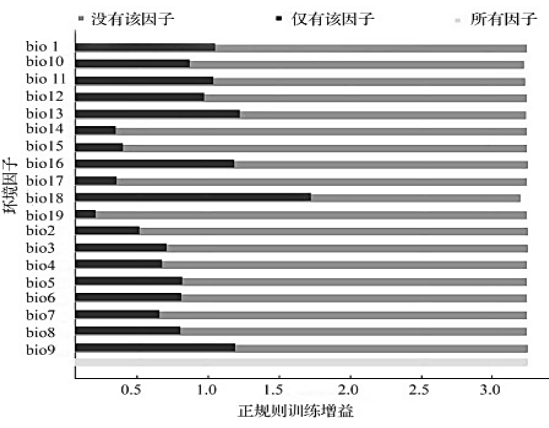


图 2 野生茉莉花当前潜在分布环境变量重要性的 Jackknife 检验

Fig. 2 Jackknife test on climate variables importance in current potential distribution of *J. sambac*

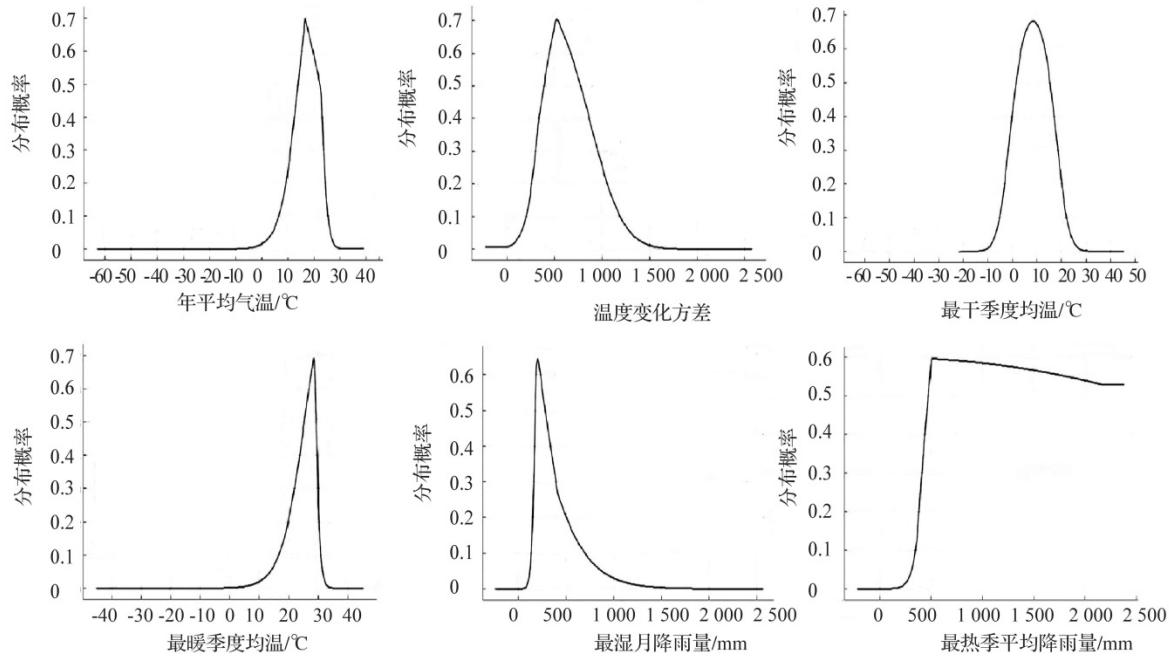
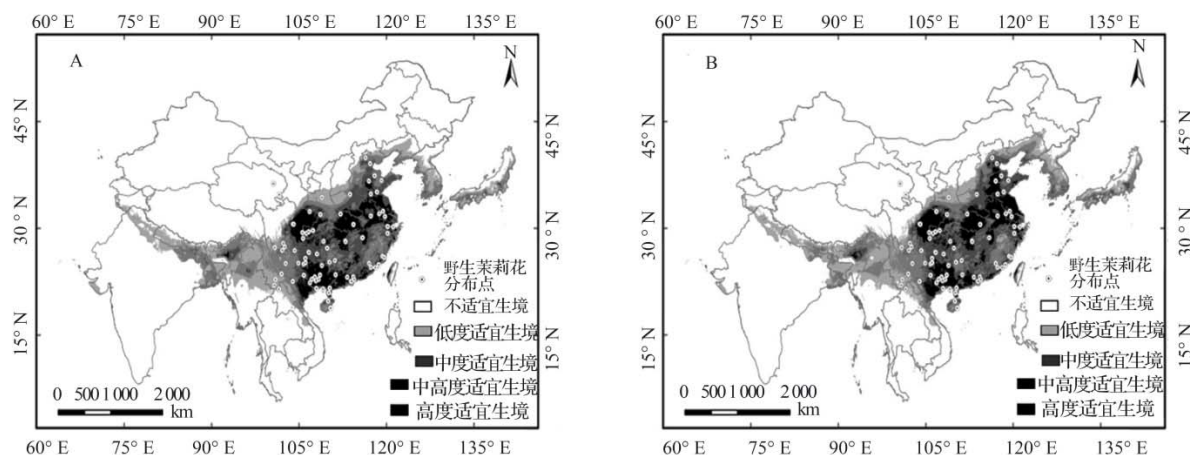


图 3 影响野生茉莉花的重要环境变量的响应曲线

Fig. 3 Response curves for important climate variables in distribution model for *J. sambac*

2.3 野生茉莉花的潜在地理分布

当前适生区预测表明，野生茉莉花的高度适生区主要分布在广东西南部、云南、江苏、四川和重庆接壤处、河南南部、安徽中部、江苏中部、湖南北部；中高度适生区分布于贵州、湖南西北部、东北部和东南部、河南和山东接壤处、江西东南部、广东东南部和天津；除以上高度及中高度适生区外，野生茉莉花在浙江、福建、江西及陕西南部也有分布（图 4）。与当前适生区相比，野生茉莉花的未来潜在适生区将向中国西南、东南地区迁移；野生茉莉花的适生区面积将减小，但是高度适生区面积增大，浙江和福建在当前的基础上变成了高度适生区；高度适生区在四川分布面积将扩大，但在江苏、广东和广西分布面积将变小。



A—当前潜在地理（1950—2000 年）分布；B—未来潜在地理（2050 年）分布。

图 4 野生茉莉花的潜在分布图

Fig. 4 Potential distribution of *J. sambac*

3 结论与讨论

3.1 野生茉莉花在中国的潜在适生区

本研究中 MaxEnt 模型检验后野生茉莉花的 AUC 值为 0.982，表明所用模型预测结果的精确度和可信度很高，与孟影等^[29]和邱浩杰等^[30]对模型的评价一致。当前适生区预测结果显示，野生茉莉花的潜在高度适生区生境相对集中在广东西南部、云南、四川和重庆接壤处、湖北北部、湖南西北部、河南南部、安徽中部、江苏中部等地。未来野生茉莉花的整体分布面积将缩小，高度适生区面积将增大。已有研究表明气候变化引起物种适生区不同程度缩小^[31-32]，这与本研究结果一致。野生茉莉花在中国的潜在适生区逐渐由西南向东部沿海地区扩散，这可能是由于我国东部沿海地区温度偏高、湿度较大导致；温暖、湿润的气候有利于野生茉莉花的生长繁殖，随着气候的不断变暖野生茉莉花的分布区域不断扩散，空气越潮湿的区域野生茉莉花生长的越好。全球范围内的气候变化致使物种的地理分布不断变化、植被带发生迁移以及物种适生区范围不断改变。未来不同时间段，全球物种的分布范围出现了不同程度的减少或扩张现象，主要表现为由低纬度、低海拔地区逐渐向高纬度、高海拔地区迁移^[33]。本研究可进一步推测野生茉莉花未来分布变化以及主要影响其分布的环境变量是降雨和温度，本研究丰富了野生茉莉花的生物地理学内容，为其保护工作提供依据。

3.2 影响野生茉莉花潜在地理分布的气候因素

利用 MaxEnt 模型进行统计分析，模拟结果显示：温度（年平均温度、温度变化方差、最干季度均温、最暖季度均温）和降雨（最湿降水量、最热季平均降水量）是影响野生茉莉花分布的主要环境因子。姬柳婷等^[4]研究了北重楼 *Paris verticillata* 潜在适生区对气候变化的响应及其主导气候因子，李璇等^[34]研究了白栎 *Quercus fabri* 潜在分布预测及适生区域划分，均认为温度和降水是影响植物潜在分布的主要因素。温度的高低以及降水量的多少是影响物种地域分布、生长模式和繁衍状况的两种最为主要的自然因素，水分条件的变化和极限气候事件能够对生物多样性以及物种分布格局产生决定性的影响^[35-37]。受到全球变暖的影响，陆地生态系统结构发生了改变，物种的栖息地和地理分布函数也发生了改变^[38]。本研究通过生态位模拟对野生茉莉花的适生区进行预测分析，所选取的 19 个环境变量仅为影响茉莉花地理分布的部分影响因素，仅说明此 19 个变量会对其分布产生较为重要的影响。除上述因素外，其他因素如非生物因素：光照、空气、土壤等，生物因素：人为因素、物种间的影响等^[39]对物种的分布是否有重要影响未来仍需探究。

参考文献

- [1] SOLOMON S, QIN D, MANNING M, et al. Climate change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers[M]. 2007.
- [2] ALEXANDER L, ALLEN S, BINDOFF N L. Climate Change 2013: the physical science basis-summary for policymakers[R]. Int Panel Climat Chang, 2013.
- [3] 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 等. 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值[J]. 生态学报, 2013, 33 (1): 103–109.
- [4] 姬柳婷, 郑天义, 陈倩, 等. 北重楼潜在适生区对气候变化的响应及其主导气候因子[J]. 应用生态学报, 2020, 31 (1): 93–100.
- [5] 李培培, 沈文君, 万方浩, 等. 全球气候变化对银胶菊在中国的适生区预测的影响[J]. 内蒙古林业调查设计, 2014, 37 (1): 112–115.
- [6] 万云, 许丽丽, 耿其芳, 等. 全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”[J]. 生态学报, 2012, 32 (17): 5601–5601.
- [7] 刘鸿雁, 唐艳鸿. 北京大学生物地理学与生态学的发展与成就[J]. 地理学报, 2017, 72 (11): 1997–2008.
- [8] 韦香杰, 甘海青, 张晓琳. 茉莉花的应用研究[C]// 大湄公河民族医药发展论坛暨湄公河次区域传统医药交流会, 2011.
- [9] 刘先和. 茉莉花的开花习性 with 茉莉花茶的窰制技术[J]. 茶叶通讯, 1982 (02): 15–19.
- [10] 孔令举, 李娟, 李赫男. 茉莉花的药用价值[J]. 吉林农业, 1995 (7): 20–20.
- [11] 王建晖, 龚正礼. 关于广西横县茉莉花支柱产业的调查与思考[J]. 茶业通报, 2002, 24 (4): 33–34.
- [12] 文茗. 好一朵茉莉花[J]. 养生月刊, 2018, 39 (8): 1.
- [13] 胡雪. 夏日小清新茶: CN105309685A[P]. 2016-02-10
- [14] 史和平, 张迂春, 邓治鑫. 桂花茶窰制技术[J]. 食品科学, 1989 (2): 15–18.
- [15] 陈殷. 茉莉花在东盟国家园林绿化应用概览[J]. 南方农业, 2014, 8 (004): 7–8.
- [16] 李文庆, 徐洲锋, 史鸣明, 等. 不同气候情景下四子柳的亚洲潜在地理分布格局变化预测[J]. 生态学报, 2019 (9): 3224–3234.
- [17] 林贻鼎, 刘玉环. 生态条件与枝梢生理对茉莉花成蕾与产量的影响[J]. 闽北农业科技, 1996 (2): 14–19.
- [18] 刘海洋, 倪伟, 袁敏惠, 等. 茉莉花的化学成分[J]. 植物分类与资源学报, 2004, 26 (6): 687–690.
- [19] 栾海蓉, 尹姣姣, 莫韦皓, 等. 茉莉花水提物对大鼠胸主动脉的舒张作用及机制[J]. 中国药杂志, 2010, 45 (3): 182–186.
- [20] 曹学仁, 陈林, 周益林, 等. 基于 MaxEnt 的麦瘟病在全球及中国的潜在分布区预测[J]. 植物保护, 2011 (3): 80–83.
- [21] 陈积山, 刘杰淋, 朱瑞芬, 等. 基于 MaxEnt 分析我国羊草分布区的生物气候特征[J]. 草地学报, 2019, 27 (1): 35.
- [22] 管毕财, 陈微, 刘想, 等. 四照花物种分布格局模拟及冰期避难所推测[J]. 西北植物学报, 2016, 36 (12): 2541–2547.
- [23] 刘翥莹, 侯文昂. 数学建模 SPSS 双变量相关性分析[J]. 西江月, 2013 (23): 427–427.
- [24] 李垚, 张兴旺, 方炎明. 小叶栎分布格局对末次盛冰期以来气候变化的响应. 植物生态学报, 2016, 40 (11): 1164–1178.
- [25] 苗苗. 基于 GIS 的中生代地形和水文分析[C]// 中国古生物学会第十二次全国会员代表大会暨第 29 届学术年会. 2018.
- [26] 石慰, 童红. 未来七十年贵州杉木林潜在适生区的变化及其生态对策[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33 (9): 87–92.
- [27] 雷军成, 徐海根. 基于 MaxEnt 的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 26 (2): 137–141.
- [28] 肖麒, 章梦婷, 吴翼, 等. 基于生态位模型的外来入侵种克氏原螯虾在中国的适生区预测[J]. 应用生态学报, 2020, 31 (1): 313–322.
- [29] 孟影, 马姜明, 王永琪, 等. 基于 Maxent 模型的柃木分布格局模拟[J]. 生态学报, 2020, 40 (22): 8287–8296.
- [30] 邱浩杰, 孙杰杰, 徐达, 等. 末次盛冰期以来红豆树在不同气候变化情景下的分布动态[J]. 生态学报, 2020, 4 (9): 3016–3026.
- [31] 毕晓琼, 赵斯, 王林, 等. 气候变化对牛膝菊在中国潜在适生区的影响[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2019, 182 (2): 70–75.
- [32] 鲁客, 贺一鸣, 毛伟, 等. 未来气候变化下黑沙蒿在中国的潜在地理分布及变迁[J]. 应用生态学报, 2020, 31 (11): 164–172.
- [33] 王亚领, 李浩, 杨旋, 等. 基于 MaxEnt 模型和不同气候变化情景的单叶蔓荆潜在地理分布预测[J]. 草业学报, 2017, 26 (7): 1.
- [34] 李璇, 李垚, 方炎明. 基于优化的 Maxent 模型预测白栎在中国的潜在分布区[J]. 林业科学, 2018, 54 (8): 153–164.
- [35] 陈衍如, 谢慧敏, 罗火林, 等. 气候变化对寒兰分布的影响及其分布格局模拟[J]. 应用生态学报, 2019, 30 (10): 3419–3425.
- [36] 曹瑞, 段飞舟. 残遗植物半日花与四合木生理生态学特征的比较研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21 (1): 184–187.
- [37] 吴建国. 气候变化对 7 种保护植物分布的潜在影响[J]. 植物科学学报, 2010, 28 (4): 437–452.
- [38] 袁婧薇, 倪健. 中国气候变化的植物信号和生态证据[J]. 干旱区地理, 2007, 30 (004): 465–473.
- [39] 方精云, 朱江玲, 石岳. 生态系统对全球变暖的响应[J]. 科学通报, 2018 (2): 136–140.