

珍稀植物楠木的地理分布及潜在分布区的预测

潘颖瑛¹, 欧阳先恒², 王晓丽³, 姜壮², 商云飞², 潘江灵⁴

(1. 浙江省航空护林管理站, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300;
3. 浙江农林大学 暨阳学院, 浙江 诸暨 311800 4. 浙江省林业资金管理中心, 浙江 杭州 310020)

摘要:以植物地理分布与气候变化间的关系为研究基础,通过 MaxEnt 模型,应用贡献率、置换重要值以及 Jackknife 检验、主成分分析,模拟研究影响楠木 *Phoebe zhennan* 地理分布的主要因子,分析楠木在当前的地理分布格局,并预测未来楠木在中国的潜在分布格局。结果表明,采用 MaxEnt 模型预测其潜在适宜分布区准确度极高,楠木在 ROC 曲线下的 AUC 值达 0.995;当前(2019)适生区预测表明,四川东南部、重庆和贵州是其分布最集中的地方,其次云南、广西、广东、福建、浙江、江西、湖北也有零散分布;随着未来(2050年)气温与降雨量的变化,江苏将有较大范围适合楠木分布,但是总的适生区面积比当前减少,例如贵州西南部的适生区面积将变小,福建、江西中度适生分布面积将变大,其余地区的适生区和当前持平。本研究结果表明,影响楠木分布的主要气候因子是温度和降雨量,可为楠木资源的科学保护和合理利用提供理论依据。

关键词:楠木; MaxEnt 模型; 适宜分布区; 主要气候因子; 预测

中图分类号: S792.24 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2021)02-0035-06

Geographical Distribution of *Phoebe zhennan* and Potential Distribution Area

PAN Ying-ying¹, OUYANG Xian-heng², WANG Xiao-li³, JIANG Zhuang², SHANG Yun-fei², PAN Jiang-ling⁴

(1. Zhejiang Aerial Forest Protection Administration, Hangzhou 310020, China; 2. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China; 3. Jiyang College of Zhejiang A & F University, Zhuji 311800, China; 4. Zhejiang Forestry Fund Administration, Hangzhou 310020, China)

Abstract: Main factors to influence geographical distribution of *Phoebe zhennan* were researched by MaxEnt model with application of contribution rate, substitution value, Jackknife test and principal component analysis. The result demonstrated that MaxEnt model predicting the potential suitable distribution area of *Ph. zhennan* had high accuracy, with area under curve of receiver operating characteristic curve of 0.995. The current suitable area (2019) prediction indicated the southeastern Sichuan, Chongqing and Guizhou, followed by Yunnan, Guangxi, Guangdong, Fujian, Zhejiang, Jiangxi and Hubei. Jiangsu would have larger area for *Ph. zhennan* distribution with the change of precipitation in the year of 2050, but the suitable distribution would be reduced. The research concluded that temperature and precipitation was the main factors affecting the distribution of *Ph. zhennan*.

Key words: *Phoebe zhennan*; MaxEnt model; suitable distribution; main climatic factors; prediction

楠木 *Phoebe zhennan* 为樟科 Lauraceae 楠属 *Phoebe* 珍稀树种,国家二级保护植物,产于湖北西部、贵州西北部及四川,浙江东部等地区有少量分布^[1]。楠木树干通直,叶终年不谢,为很好的绿化树种,其木材有香气,

收稿日期: 2020-09-19; 修回日期: 2021-01-16

作者简介: 潘颖瑛, 从事林业生态学研究、森林航空护林消防管理工作; E-mail:12464388@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。

纹理直而结构细密,不易变形和开裂,为建筑、高级家具等的优良木材^[2-4]。楠木作为中药入药能散寒化浊、利水消肿,主要治疗吐泻转筋、水肿等^[5]。在利益驱使下,不法分子对野生楠木进行滥砍滥伐,通过野外实地调查发现,四川盆地、贵州北部的野生楠木资源数量情况不容乐观,亟需制定切实有效的保护措施^[6-7]。

通过对我国楠木分布区的模拟研究,可补充全球极端气候变化以及植物资源利用与保护相关数据,并为我国楠木的多样性和物种分化研究提供基础依据。楠木在我国分布广泛,其地理分布明显受各种因子的影响,所以,以楠木为研究对象能客观的反映其地理分布格局与气候变化之间的关系^[8-9]。以植物地理分布与气候变化间的关系为研究点,通过大量的模拟研究分析,可准确得到 MaxEnt 模型模拟其自然分布格局的数据,并能反映楠木的潜在分布与影响其地理分布的因子间的关系^[10-11]。通过 MaxEnt 模型和 ArcGIS10.0 软件分析得出楠木在当前的地理分布格局,并能预测 2050 年楠木在中国的潜在分布格局^[12]。

1 材料和方法

1.1 样品数据

从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>) 获取楠木的地理位置数据,数据尽可能精确到乡(镇)及以下区域,删除重复和模糊地理位置数据,并通过谷歌地图 (<http://ditu.google.cn>) 得到经纬度,然后从获得的经纬度中删除重复数据和数据之间不大于 0.4 的数据,筛选后共得到楠木 186 个详细的位点分布信息,保存为 Office Excel 文件 (.csv 格式) 备用^[13]。

1.2 环境数据

从世界气候数据库 (WorldClim, <http://www.worldclim.org/>) 获取气候数据。其中,将 1950-2000 年世界各地的气象站观测信息,利用空间插值法生成的全球气候数据视为目前气候数据,空间分辨率为 2.5';未来气候数据来源于美国国家大气研究中心 (NCAR) 所研发的全球大气环流谱模式 CCM3 模型,即在二氧化碳倍增情境下模拟的 2100 年气候数据,空间分辨率为 2.5'。选用数据内的 19 个气候环境变量用作为预测物种分布的主要变量^[14],分别为 bio1 (年平均温度)、bio2 (平均昼夜温差)、bio3 (等温性)、bio4 (温度季节性变化方差)、bio5 (最暖月最高温度)、bio6 (最冷月最低温度)、bio7 (年温度变化差值)、bio8 (雨季平均温度)、bio9 (干季平均温度)、bio10 (最暖平均温度)、bio11 (最冷平均温度)、bio12 (年降雨量)、bio13 (最湿月降雨量)、bio14 (最干月降雨量)、bio15 (降雨量变异系数)、bio16 (最湿季降雨量)、bio17 量 (最干季降雨)、bio18 (最暖季降雨量)、bio19 (最冷季降雨量)。

1.3 地图数据

从我国国家基础地理信息系统网站 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>) 下载 1:400 万的中国地图和中国行政区划图。利用 ArcGIS (Version 10.0) 软件进行楠木在不同时期的分布区模拟^[15]。以楠木 2019 年地理分布格局图为模板,模拟得出了楠木在不同时期的地理分布格局。然后把楠木分布点导入到地图中,提取得到实际分布点进行分析,比较不同时期楠木适宜分布区的面积与实际分布点之间的扩张与收缩。根据重新分类将楠木的生境分布区划分为 5 种,通过 ArcGIS (Version 10.0) 软件,对 Maxent 模拟得出的数据模型栅格化,栅格重新分类以上数据。依据模型计算,研究适生指数 (0~100%) 为 5 类,分别为高度适生 (>80%~100%)、中高度适生 (>60%~80%)、中度适生 (>40%~60%)、低度适生 (>20%~40%)、不适生 (0~20%),5 种适宜分布区对应不同色调的颜色,从冷色调到暖色调直观体现在地图上^[16]。以 PDF 文件类型导出变化图层,然后在 AI 中修改图像,最后变成 Tiff (.tif) 格式。

1.4 最大熵模型预测和模型精度评价

采用最大熵法对楠木当前 (2019) 和未来 (2050) 的潜在分布进行模拟,并对模型进行曲线 (ROC) 统计区域评估。第 25 个百分位数训练存在,一个收敛阈值 1 025,最多 500 个迭代和 10 000 个全球背景点被使用;将逻辑输出评估每个网格单元环境变量的存在概率 (0~1),因采样结果的时间和空间尺度,在合适区域有 50% 的可能性;预测每种植物的分布情况,利用 MaxEnt 内部的 Jackknife 程序和每个变量的贡献率百分比来评

估每个环境变量的重要性; 在模型性能稳定、没有变量的情况下衡量贡献率, 从本质上度量每个环境变量的相对重要性^[17]。对所有预测描述的梯形方法进行计算, 得出 ROC 曲线下的面积。AUC 值表示在 ROC 曲线下发生的面积之和 (0 ~ 1)。一般 AUC 值 ≤ 0.5 表示执行不好, $> 0.5 \sim 0.75$ 表示模型性能较低, $> 0.75 \sim 0.9$ 表示可用, > 0.9 表示优秀^[18]。

1.5 气候变量相关性检测

将影响楠木自然地理分布统计数据 and 影响楠木地理分布的主要因子的统计数据嵌入 MaxEnt 模型进行模拟, 得到影响楠木地理分布的主要因子, 通过计算, 得到在各主要因子影响下形成的楠木地理分布格局贡献率^[19]。将相对贡献率高的前五个环境变量数据导入到 SPSS 中^[20], 利用相关性对环境变量进行比较。

2 结果与分析

2.1 结果模拟的准确性和预测的成功性

应用 MaxEnt 模型模拟输出 ROC 曲线, 见图 1。从图 1 可知, AUC 数据作为预测准确度的衡量指标, 在取值范围为 [0, 1] 区间内, 基于气候因子的最大熵模型的 AUC 值达 0.995, 对照 AUC 值评判标准 AUC 均值都大于 0.9, 说明在所取气候条件下, 模型精确度较高, 其预测结果也较可信, 可作为判断物种潜在分布标准。以上分析结果表明, 对于每一个物种, MaxEnt 所预测的最适宜气候的区域与位置点发生高度有关^[21]。

2.2 楠木的分布与气候变量的关系

2.2.1 贡献率和置换重要值 除以上检测, 各环境变量的贡献率和置换重要值也能反映出环境对楠木地理分布格局的影响。在楠木地理分布格局与影响其分布的主要因子的模型中, 以 19 个生物气候指标作为环境变量, 计算出各个环境变量对楠木地理分布格局与影响其分布的主要因子模型中的贡献率和置换重要值。

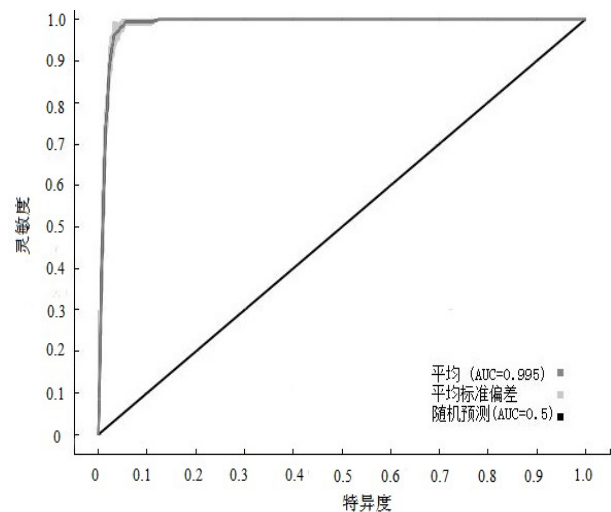


图 1 楠木的 AUC 值和分布点

Figure 1 Area under curve and distribution of *Ph. zhenan*

表 1 用于模型预测的环境变量
Table 1 Variables of environment in the model

气候变量	楠木		气候变量	楠木	
	贡献率/%	置换重要值/%		贡献率/%	置换重要值/%
bio1	0.6	2.5	bio11	1.3	3.2
bio2	13.4	0.1	bio12	0.9	3.5
bio3	2.2/6.6	6.6	bio13	1.3	0.2
bio4	15.3	7.0	bio14	1.4	10.7
bio5	0.6	0.5	bio15	1.0	3.8
bio6	24.9	28.4	bio16	3.1	0.1
bio7	4.4	2.1	bio17	1.0	6.9
bio8	4.4	0.3	bio18	12.6	0.2
bio9	7.8	16.1	bio19	2.2	7.5
bio10	1.3	0.3			

由表 1 可知, 对楠木分布贡献率排前三位的变量分别为 bio6、bio4、bio2, 其累积贡献率为 53.6%; 其中以 bio6 的贡献率最高。对楠木分布置换重要值排前三位的变量分别为 bio6、bio9、bio14, 其累计值为 55.2%, 其中以 bio6 的置换重要值最高。

2.2.2 Jackknife 检验 通过使用刀切法检验,对每一个环境都进行刀切法分析,可推断出影响楠木地理分布的各主要因子对楠木地理分布格局的影响作用大小。Jackknife 检验还能判别不同变量对楠木潜在分布面积有不同的影响。在测试中,当仅使用单独变量时,楠木正则化训练增益最高变量为 bio9。

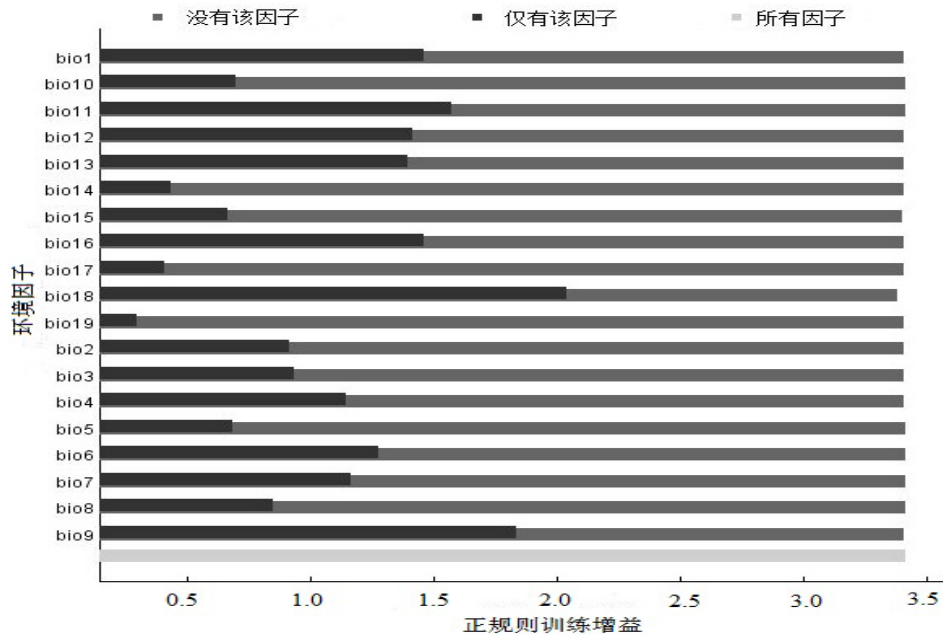


图2 楠木当前潜在分布环境变量重要性的 Jackknife 检验

Figure 2 Jackknife test of environmental variables importance of *Ph. zhennan* at present and potential

2.2.3 气候因子的主成分分析 对楠木分布相关的气候因子做主成分分析,由表2可见,影响楠木分布的四个主成分,其累积贡献率达到90.915%,大于85%,说明在楠木前四个主成分分析中,反映出有效分布点的生物气候变量信息量的90.915%。从表3可看出,第一主成分主要反映 bio10、bio6、bio1,第二主成分主要反映 bio4、bio7、bio15,第三主成分主要反映 bio12、bio16、bio13。可见, bio10、bio4 和 bio12 是影响楠木的主要环境因子。

表2 影响楠木分布的前4个主成分方差解释
Table 2 Principal component analysis on climate factors for distribution of *Ph. zhennan*

主成分	特征数值	方差率/%	累积贡献率/%
1	7.288	38.359	38.359
2	5.610	29.529	67.887
3	3.019	15.888	83.776
4	1.357	7.140	90.915

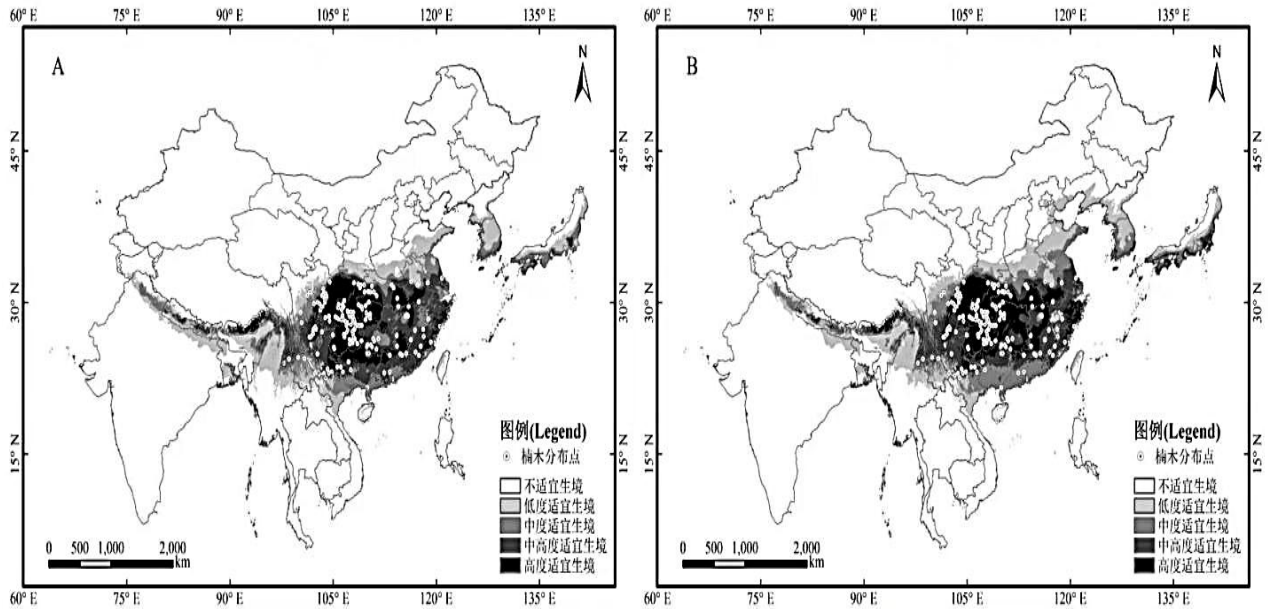
表3 楠木相对于各变量的主成分得分系数
Table 3 Principal component coefficients related to each variable

气候变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3	气候变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3
bio1	0.854	0.175	-0.323	bio11	0.769	0.537	-0.289
bio2	-0.363	0.325	0.160	bio12	0.690	-0.070	0.677
bio3	-0.128	0.807	0.058	bio13	0.483	0.375	0.641
bio4	-0.019	-0.934	-0.026	bio14	0.594	-0.636	0.391
bio5	0.831	-0.303	-0.396	bio15	-0.326	0.827	-0.008
bio6	0.858	0.343	-0.332	bio16	0.529	0.463	0.653
bio7	-0.248	-0.840	0.011	bio17	0.613	-0.598	0.427
bio8	0.743	0.015	-0.532	bio18	0.300	0.648	0.507
bio9	0.830	0.438	-0.179	bio19	0.643	-0.519	0.435
bio10	0.873	-0.241	-0.375				

2.3 楠木的地理分布格局

当前(2019年)适生区预测表明,四川东南部、重庆和贵州是楠木分布最集中的地方,其次云南、广西、广东、福建、浙江、江西、湖北也有零散的分布;未来情境下,比较当下适生区与未来(2050年)潜在分布预

测图, 可以清楚地看出: 楠木的整体分布格局基本和当前一致, 到 2050 年时江苏将有较大范围适合楠木分布, 但是适生区面积比当前减少, 例如贵州西南部的适生区面积变小; 福建、江西中度适生分布面积开始变大; 其余地区的适生区和当前差不多。



A - 楠木当前 (2019) 分布图; B - 楠木未来 (2050) 分布图。

图 3 楠木的潜在分布图

Figure 3 Potential distribution regions of *Ph. zhennan*

3 结论与讨论

3.1 气候对楠木潜在分布区的影响

一定分布区域内植被或植物群落类型与气候之间存在密切联系, 也可以说地域性的植被或群落类型可以综合反映出该地域气候的整体状况^[22]。针对气候变化, 使用 MaxEnt 模拟楠木地理分布格局与其主要影响因子关系, 能客观反映二者之间的关系。本研究模型表明: 对于楠木的地理分布格局而言, 气候变化的影响比较显著。在当前时期, 模型反映其潜在分布区域中的 AUC 值达 0.995。通过对楠木环境变量的统计分析, 结果表明, bio6 (最冷月最低温度) 的贡献率和置换重要值最高。而 Jackknife 的研究结果发现, 假如只考虑单一的影响楠木地理分布格局的主要因子, 以 bio9 (干季平均温度) 的正则化训练增益值最高, 对影响季节的温度起到重要作用。通过运用主成分分析, 发现了影响楠木分布的主要因素为: bio4 (温度季节变化方差)、bio10 (最暖平均温度) 和 bio12 (年降雨量)。总体而言, 楠木地理分布格局受温度因子 (bio4、bio9 和 bio10) 和年降雨量 (bio12) 的影响最为明显。这说明对于楠木的地理分布格局, 温暖湿润的气候更有利于楠木地理分布格局的扩散^[23], 其中水分因子与温度因子变化代表着地区水热分布格局的改变。楠木地理分布格局的形成, 是综合了各种影响因子作用力的结果, 除了主要受气候的影响外, 还受到其他因素的影响, 如群落内各物种之间的相互作用、植被局部小气候、地形等。

3.2 不同时期楠木潜在分布区的变化

通过 Maxent 模拟可以得知, 随着气候的不断变暖, 楠木的分布区域不断扩散, 同时空气越潮湿的区域楠木生长越好, 说明了温暖、湿润的气候有利于楠木的生长繁殖。依据程军等^[24]气候变暖与湿润的空气对楠木地理分布格局影响的研究和预测, 可预测楠木在中国的适合种植区域将不断扩大, 例如, 到 2050 年时江苏将有较大范围适合楠木分布。随着人类工业生产、生活等活动的影响导致全球气候变暖, 楠木的地理分布格局在可预见

的将来(2050年前)将日益增大,至于在更长远的未来,是否会继续扩大还不得而知,需要进一步的研究。对现存的楠木,应制订有效保护措施,严禁滥砍滥伐,并积极进行抚育管理,防治病虫害,保护好现有物种资源。

本研究客观反映楠木在中国当前和未来气候变化下的分布动态,不仅揭示生态系统自身调节功能对生物多样性巨大影响作用,为保护生态、应对极端气候指明了方向,还对今后楠木的资源调查、保护与开发具有重要参考价值。对今后研究楠木的生理生态、区域气候监测、预测模型参数进行补充及修正,还可提高模型预测精确度和监测分布变化^[25]。

参考文献:

- [1] 南程慧,林径宇,薛晓明.楠木的园林应用及开发[J].园林,2018(8):42-44.
- [2] 林朝楷,黄世贵.浅谈楠木播种育苗技术[J].中国园艺文摘,2010(01):91-91.
- [3] 何林.楠木多年生大苗的容器育苗技术探索[J].农民致富之友,2017(15):179-179.
- [4] 吴显坤,朱筠.珍稀树种浙江楠植物种鉴定[J].森林公安,2015,90(06):24-27.
- [5] 蒋红星.木中金子——楠木[J].国土绿化,2000(05):43.
- [6] 丁鑫,肖建华,黄建峰,等.珍贵木材树种楠木的野生资源调查[J].植物分类与资源学报,2015(11):629-639.
- [7] 江灶发,董忠敏.楠属植物资源的开发与利用研究[J].黑龙江农业科学,2008(6):119-121.
- [8] 李艳.中国典型农林害虫地理分布格局及其与气候要素关系的研究[D].辽宁:沈阳农业大学,2012.
- [9] 孙晓红.中国红松地理分布与气候的关系研究[D].北京:中国科学院研究生院,2012.
- [10] 赵蓓.中国几种英武森林类型(建群种)分布对气候变化响应的模拟研究[D].北京:北京师范大学,2011.
- [11] 刘然,王春晶,何健,等.气候变化背景下中国冷杉属植物地理分布模拟分析[J].植物研究,2018,38(1):37-46.
- [12] 马松梅,聂迎彬,耿庆龙,等.气候变化对蒙古扁桃适宜分布范围和空间格局的影响[J].植物生态学报,2014,38(3):262-269.
- [13] 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,2011,37(3):80-83.
- [14] 贾翔,马芳芳,周旺明,等.气候变化对阔叶红松林潜在地理分布区的影响[J].生态学报,2017,37(2):464-473.
- [15] 刘艳,阿提古丽·毛拉,沙毕热木·斯热义力,等.气候变化下耐旱藓类连轴藓属在新疆的分布模拟[J].西北植物学报,2017,37(9):1881-1887.
- [16] 毛俐慧,李焱,刘畅,等.基于MaxEnt模型预测细叶小羽藓在中国的潜在分布区[J].生态学杂志,2017,36(1):54-60.
- [17] 陆霞,杜新民,安建梅.基于GARP的美国白蛾在中国的适生区预测[J].农业与技术,2016,36(19):46-50.
- [18] 李焱,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[J].植物生态学报,2016(11):1164-1178.
- [19] 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.
- [20] 刘翡莹,侯文昂.数学建模SPSS双变量相关性分析[J].西江月,2013(23):427-427.
- [21] 石子为,康利平,彭华胜,等.我国滇重楼种植的气候适宜性研究[J].中国中药杂志,2017,42(18):3435-3442.
- [22] 倪健,宋永昌.亚热带常绿阔叶林若干树种分布与Penman指标关系的探讨[J].植物学报(英文版),1998(7):647-656.
- [23] 洪必恭,李绍珠.江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究[J].生态学报,1981,1(2):7-13.
- [24] 程军,沈阳,郭水良.气候变暖对花叶藓属植物在中国的潜在分布范围影响的预测[J].生态科学,2015,34(1):9-16.
- [25] 吴建国,吕佳佳,艾丽.气候变化对生物多样性的影响:脆弱性和适应[J].生态环境学报,2009(02):693-703.