

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.04.035

# 基于 MaxEnt 模型的凉山山系珙桐种群 适宜生境分布及其影响因素分析

陈俪心<sup>1</sup>, 和梅香<sup>1</sup>, 王彬<sup>2</sup>, 谭进波<sup>1</sup>, 黄耀华<sup>3</sup>, 冉江洪<sup>1</sup>

(1. 四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065;

2. 西华师范大学生态研究院, 南充 637002; 3. 四川马边大风顶国家级自然保护区管理局, 乐山 614600)

**摘要:** 珍稀物种的分布特征是物种濒危等级评定和保护策略制订的基础资料. 本文利用 MaxEnt 模型对分布于凉山山系的珙桐 *Davidia involucrata* (包括光叶珙桐 *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*) 种群的生境分布及其影响因素进行了模拟分析, 结果表明: 在垂直方向上珙桐主要分布在海拔 1500~2300 m 的中山地带; 在水平方向上珙桐基本分布在凉山山系东坡的小凉山地区. 珙桐总分布面积为 1832.446 km<sup>2</sup>, 其中最适宜生境面积为 958.448 km<sup>2</sup>, 次适宜生境面积为 873.998 km<sup>2</sup>. 刀切法检验结果及限制因子分析表明影响珙桐分布特征的主要环境因子有温度季节性变异系数、海拔、最冷月最低温、最冷季降水量、降水季节性变异系数、到居民点距离. 本文建议应加强对凉山山系保护区外的大面积珙桐生境的保护及关键连接区域的恢复, 以促进山系内珙桐资源的生长和生境的连接.

**关键词:** 珙桐; 光叶珙桐; 凉山山系; MaxEnt 模型; 生境分布; 扩散限制

**中图分类号:** Q92; D40 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)04-0873-08

## Analysis of suitable habitat distribution and its influence factors of *Davidia involucrata* in Liangshan Mountains based on MaxEnt model

CHEN Li-Xin<sup>1</sup>, HE Mei-Xiang<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>2</sup>, TAN Jin-Bo<sup>1</sup>,  
HUANG Yao-Hua<sup>3</sup>, RAN Jiang-Hong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-environment of Ministry of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637002, China;

3. Sichuan Mabian Dafengding National Nature Reserve Administration Bureau, Leshan 614600, China)

**Abstract:** Based on field investigations, in the present study, we analyzed the habitat distribution and its influence factors of *Davidia involucrata* (including *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*) in Liangshan Mountains by MaxEnt model. The results showed that, in the vertical direction, dove trees are mainly distributed at an altitude of 1500~2300 m, which is named as the mid mountain zones; in the horizontal direction, dove trees are mainly concentrated in Xiaoliang Mountains, which is located in the east of Liangshan Mountains. In the study area, the total distribution area of *D. involucrate* is 1832.446 km<sup>2</sup>, which includes the most suitable habitat (958.448 km<sup>2</sup>) and the sub suitable habitat (873.998 km<sup>2</sup>). The Jackknife Test and Limiting Factors Analysis indicated that temperature seasonality, altitude, min temperature of coldest month, precipitation of coldest quar-

收稿日期: 2017-06-27

基金项目: 国家自然科学基金(31700176)

作者简介: 陈俪心(1995-), 女, 硕士, 主要从事生物多样性保护研究. E-mail: chen\_lx@126.com

通讯作者: 谭进波. E-mail: jinbotan@scu.edu.cn

ter, Precipitation Seasonality and the distance to settlements have great contributions to the distribution of *D. involucrate*. So we suggests that the conservation of the habitat of *Davidia involucrate* population outside the reserve and the restoration of key connecting areas should be strengthened to promote the growth of *Davidia involucrate* population in the mountain and the connection of habitats.

**Keywords:** *Davidia involucrata*; *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*; Liangshan Mountains; MaxEnt model; Habitat distribution; Dispersal limitation

## 1 引言

珙桐 *Davidia involucrata* 是隶属于珙桐科 *Davidiaceae* 的单型属植物<sup>[1]</sup>, 为第三纪古热带植物区系的孑遗植物<sup>[2]</sup>. 目前一般认为本属有 1 种和 1 变种, 即珙桐 *D. involucrata* 和光叶珙桐 *D. involucrata* var. *vilmoriniana*<sup>[1]</sup>, 二者均为我国特有种和国家一级重点保护植物<sup>[3]</sup>. 光叶珙桐与珙桐的地理分布区相同, 均天然分布在我国贵州、湖南、湖北、陕西、四川、云南以及甘肃等地<sup>[1,4,5]</sup>. 目前光叶珙桐的分类地位还存在争议, 且其与珙桐常混生在同样的生长环境中<sup>[4-7]</sup>, 所以在本文将不区分光叶珙桐, 将二者作为一个种处理.

目前对珙桐的种群生态学以及群落生态学已有一些研究, 包括种群结构、种群更新情况、种群分布格局、种群数量动态、珙桐群落物种组成、群落结构<sup>[8-12]</sup>等, 但对珙桐的生境分布及其影响因素的研究甚少, 仅有张清华等(2000)以及吴建国等(2009)利用不同模型在全国范围尺度上模拟了气候变化对珙桐地理分布的可能影响<sup>[13,14]</sup>. 这两项研究均只涉及了气候因子, 而未考虑其它可能的生态因子对珙桐分布的影响; 另外由于这两项研究尺度较大, 不能在山系尺度上较好地了解珙桐的空间分布格局.

从地理分布上来看, 珙桐现有分布区域有 5 块: 横断山区、大凉山区、乌蒙山区、武陵山区、大巴山区, 均围绕在四川盆地边缘, 且各区域之间的珙桐存在不同程度的遗传分异<sup>[15]</sup>. 故从山系尺度上研究珙桐分布, 有助于了解珙桐种群的区域性分布特征, 并探讨造成珙桐现有分布格局的原因. 凉山山系(大凉山区)是全国珙桐局部分布最为集中、面积最大、数量最多的地区之一<sup>[16,17]</sup>, 也是珙桐在第四纪冰期的区域性小避难所之一<sup>[6,15]</sup>. 但目前对凉山山系珙桐种群的生态学研究却是缺乏的, 仍不清楚该地区珙桐的分布特征及适宜生境特征. 此外, 化石记录表明珙桐曾在很大范围内有分布<sup>[15]</sup>, 但在经历了第四纪冰期后残留在中国西南、华中地区山地中的珙桐(特别是四川盆地以西的种群)并未表现出明显的

近期扩张现象<sup>[6,15]</sup>, 目前这种残留机制并未明了.

物种的种群分布特征不仅是物种的基础生态学资料, 也是实施物种保护及物种濒危等级评定所必需的基础资料. 本文通过对凉山山系珙桐资源的实地调查及 MaxEnt 模型模拟分析, 以期了解: (1)凉山山系珙桐种群的分布特征; (2)珙桐适宜生境的环境特征; (3)限制凉山山系珙桐向外扩散的环境特征. 进而丰富珙桐的生态学及生物地理学资料, 为珙桐资源的保护提供科学依据.

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

2.1.1 研究区域概况 凉山山系地处四川盆地南部向青藏高原的过渡地带, 东起马边河, 西至甘洛河、越西河, 北抵大渡河, 南到金沙江, 其主体包括四川省的马边彝族自治县、峨边彝族自治县、雷波县、美姑县、甘洛县、越西县等县(图 1). 以黄茅埂为界, 分为东西两侧, 东侧为小凉山, 包括马边彝族自治县、峨边彝族自治县、雷波县等区县, 属“山地地貌—中山—盆西南边缘山地”; 西侧为大凉山, 美姑县、甘洛县、越西县等区县, 属“山原地貌—凉山山原”<sup>[18]</sup>.

大凉山气候属西南季风与东南季风过渡带, 年平均温度 10.9~15.8 °C, 年降水量 1000 mm 左右. 小凉山气候属于亚热带湿润季风气候, 年平均气温 16.9 °C, 年降水量 1600~2000 mm<sup>[18]</sup>.

2.1.2 数据来源 凉山山系 6 个县 321 个珙桐位点数据来源于 2012-2016 年间对凉山山系保护区的野外调查, 以及四川省第四次大熊猫调查的数据(图 1). 调查区域涵盖了凉山山系 6 个县, 调查海拔从 1000 到 3500 m, 仅四川省第四次大熊猫调查样线就达到 481 条. 布设的植被调查样线沿山体由低海拔向高海拔延伸, 在调查中发现珙桐分布时做 20 m×20 m 的调查样方, 在样方中记录经纬度、海拔等信息.

为了避免过拟合, 剔除掉 1 km×1 km 栅格中多于 1 的位点, 最终从 321 个珙桐位点中筛选出珙桐记录位点数据 166 个. 当前气候数据(分辨率 1

km)来源于 www.worldclim.org. 高程数据采用 SRTM DEM 原始高程数据(分辨率 90 m),来源于 www.gscloud.cn. 在 ArcGIS10.2 中通过空间分析提取出坡度、坡向、海拔 3 项地形数据. 卫星影像采用 Landsat 8 卫星遥感数据(分辨率 30 m),来源于 ids.ceode.ac.cn;参考《中国植被》(吴征镒, 1980)并结合野外调查获得的植物群落样方数据,

在 ERDAS 9.2 中利用卫星遥感影像进行非监督分类得到凉山山系 6 县 9 种植被类型: 针叶林、温性针阔叶混交林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、竹林、灌丛和灌草丛、草甸、农田. 水系、居民点、道路抽提自 1 : 50000 地形图. 在 ArcGIS 中对水系、居民点、道路分别做距离分析得到三者的距离栅格图层.

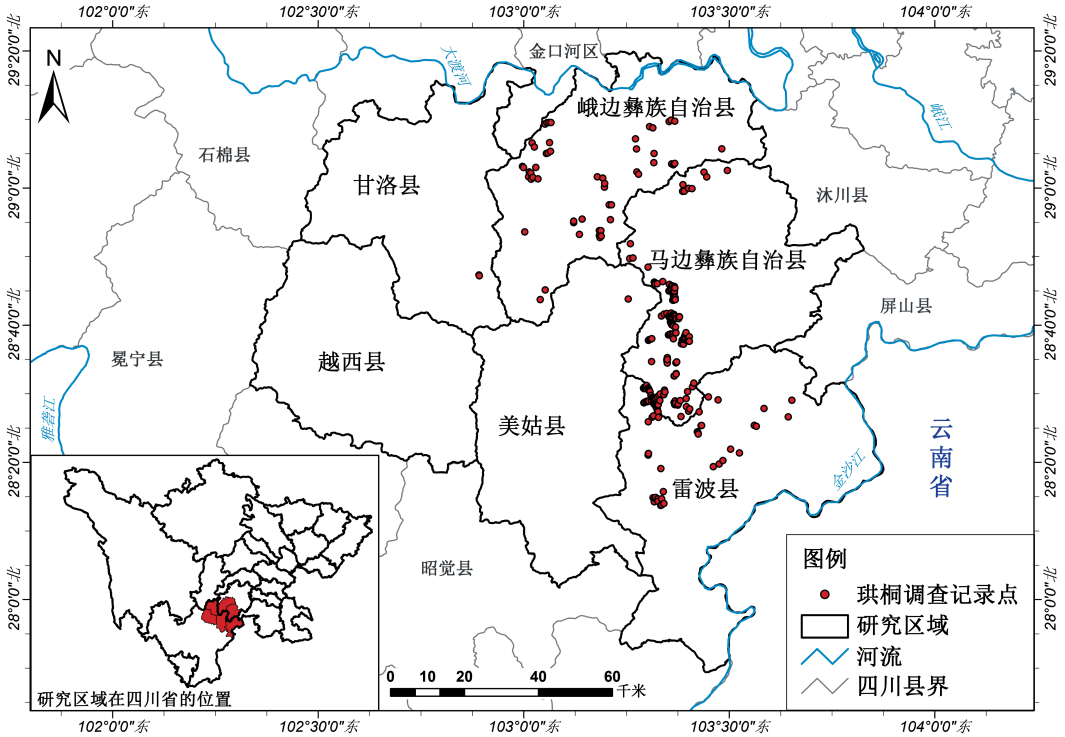


图 1 珙桐调查记录点及研究区域位置图

Fig. 1 Recording locations of *Davidia involucrate* and the geographic location of study area

### 2.2 方法

将气候数据(19 项)、海拔、坡度、坡向、植被类型、到河流距离、到居民点距离、到道路距离共 26 项环境变量数据(表 1)在 ArcGIS 中投影到 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N 坐标系,并重采样统一栅格单元大小为 90 m×90 m,最后裁剪为凉山山系 6 县范围,以输入 Maxent 进行模拟分析.

本文利用 MaxEnt 软件进行两次模拟分析,第一次进行气候变量筛选,第二次进行珙桐生境分布预测. 两次模拟分析的参数设置均一致:随机选取 25% 的分布点作为测试集,剩余 75% 分布点作为训练集,采用 Crossvalidation 方法重复计算 10 次,其他参数均为模型的默认值<sup>[19]</sup>. 利用 AUC 值检验模型预测精度,AUC 值越接近于 1 表明模型预测效果越好<sup>[20]</sup>,利用刀切法检测各项环境数据对珙桐分布预测的贡献率<sup>[21]</sup>.

表 1 运用 MaxEnt 分析珙桐生境分布的 26 项环境变量  
Tab. 1 26 environmental variables to analysis habitat distribution of *Davidia involucrate* Baill. by MaxEnt

变量	代表值	变量	代表值
bio1	年均温	bio14	最干月降水量
bio2	平均日较差	bio15	降水季节性变异系数
bio3	等温性	bio16	最湿季降水量
bio4	温度季节性变异系数	bio17	最干季降水量
bio5	最暖月最高温	bio18	最暖季降水量
bio6	最冷月最低温	bio19	最冷季降水量
bio7	年温差	altitude	海拔
bio8	最湿季均温	slope	坡度
bio9	最干季均温	aspect	坡向
bio10	最暖季均温	vegetation	植被类型
bio11	最冷季均温	river	到河流距离
bio12	年降水量	settlement	到居民点距离
bio13	最湿月降水量	road	到道路距离

气候变量筛选:由于各项环境变量之间存在不同程度的相关性,这对 MaxEnt 模型的预测结果有所影响,所以需要对环境变量进行相关性检验.考虑到除气候数据以外的 7 项环境数据均与珙桐的生态学特性紧密相关<sup>[5,16]</sup>,所以仅对气候数据进行相关性分析.将 19 项气候数据输入 MaxEnt 进行预分析,用刀切法检验气候因子的贡献率.在 IBM-SPSS 21.0 中利用秩相关系数(Spearman 系数)检验气候数据的相关性.在相关系数 $> \pm 0.85$ 的两个气候数据中剔除贡献率较低的一个变量<sup>[22]</sup>.最后筛选出温度季节性变异系数(bio4)、最冷月最低温(bio6)、年温差(bio7)、季节性降水(bio15)、最暖季降水(bio18)、最冷季降水(bio19)共 6 项气候数据.

珙桐生境分布预测:将筛选出的 6 项气候变量及其它环境变量共 13 项环境因子输入 Maxent 进行分析.将分析结果导入 ArcGIS 10.2 中,依据 Maxent 模型最大约登指数<sup>[23]</sup>及自然间断点对其进行重分类,得到珙桐生境适宜性评价图并计算出珙桐分布面积.

珙桐环境因子分析:在刀切法检测各项环境变量对珙桐分布预测的贡献率的基础上,结合珙桐分布概率—环境变量关系曲线进一步分析珙桐生境预测与重要环境因子之间的量化关系,以确定珙桐适宜生境的环境特征.利用限制因子分析检测在每个栅格上对限制珙桐分布有最大影响的环境因子<sup>[24]</sup>,以分析各环境因子在空间上对珙桐分布的限制作用;然后利用 ArcGIS10.2 和 SPSS 21.0 对重要限制因子进行量化分析,以确定限制因子影响珙桐分布的限制值.

## 3 结果与分析

### 3.1 凉山山系珙桐垂直分布特征

统计结果表明(图 2),调查记录到珙桐的最低分布海拔为 1083 m,最高分布海拔为 2790 m,较为集中地分布在 1600~2200 m 的海拔范围.

### 3.2 凉山山系珙桐适宜生境分布及面积

模型分析所得平均训练集和平均测试集的 AUC 值分别为 0.9506 和 0.9229,表明 MaxEnt 模型对珙桐生境模拟效果非常好.依据 Maxent 模型最大约登指数,确定适生概率 $> 0.2544$ 为珙桐适宜生境,适生概率 $< 0.2544$ 为珙桐不适宜生境.再根据自然间断点法,划分适生概率 0.2544~0.4052 为珙桐次适宜生境,适生概率 $> 0.4052$ 为

珙桐最适宜生境.据此得到珙桐适宜生境分布预测图(图 3).

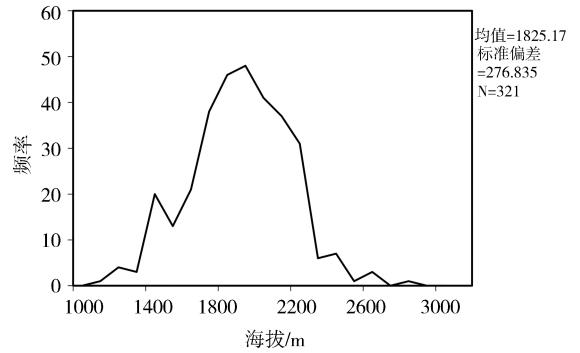


图 2 凉山山系珙桐垂直分布格局  
Fig. 2 Vertical Distribution Pattern of *Davidia involucrate* in Liangshan Mountains

由图 3 可知,珙桐主要分布在凉山山系的小凉山(峨边、马边、雷波三县),而在大凉山区域(甘洛、美姑、越西三县)仅有少量分布.研究区域珙桐的适宜生境面积(即分布面积)为 1832.446 km<sup>2</sup>,其中最适宜生境面积为 958.448 km<sup>2</sup>,次适宜生境面积为 873.998 km<sup>2</sup>.

### 3.3 影响因素分析

3.3.1 对珙桐预测分布高贡献率的环境因子 刀切法检验结果表明温度季节性变异系数(bio4)、海拔(altitude)、最冷月最低温(bio6)、降水季节性变异系数(bio15)4 项环境因子对珙桐分布预测的影响最大(图 4).

物种分布概率—环境因子响应曲线(图 5)显示,珙桐预测分布区域的温度季节性变异系数(bio4)的适宜值为 5650~6000(温度标准差 5.7~6 °C);珙桐适宜生境海拔为 1500~2300 m,最适宜海拔约为 1600 m;最冷月最低温(bio6)的适宜范围是 -40~0(-4~0 °C);降水季节性变异系数(bio15)的适宜范围是 80~85(降水标准差 80~85 mm)

3.3.2 珙桐预测分布的限制因子 将珙桐预测分布区域与限制因子分析结果叠加(图 6)显示,限制珙桐在凉山山系西坡——大凉山分布的环境因子是海拔和最冷季降水量;限制珙桐向小凉山东部地区分布的最主要环境因子是温度季节性变异系数;在珙桐分布区域内部及周围,到居民点距离有一定限制作用.

单因素方差分析结果显示,海拔、温度季节性变异系数(bio4)、最冷季降水量(bio19)、到居民点距离各自的限制区域和非限制区域的变量值均具显著差异( $P < 0.001$ ).图 7 表明大凉山较高的海



拔和较少的最冷月降水量限制了珙桐向西分布; 较高的温度季节性变异指数限制了珙桐往小凉山的

东部分布; 在珙桐分布区域周围到居民点更近的距离会限制珙桐分布。

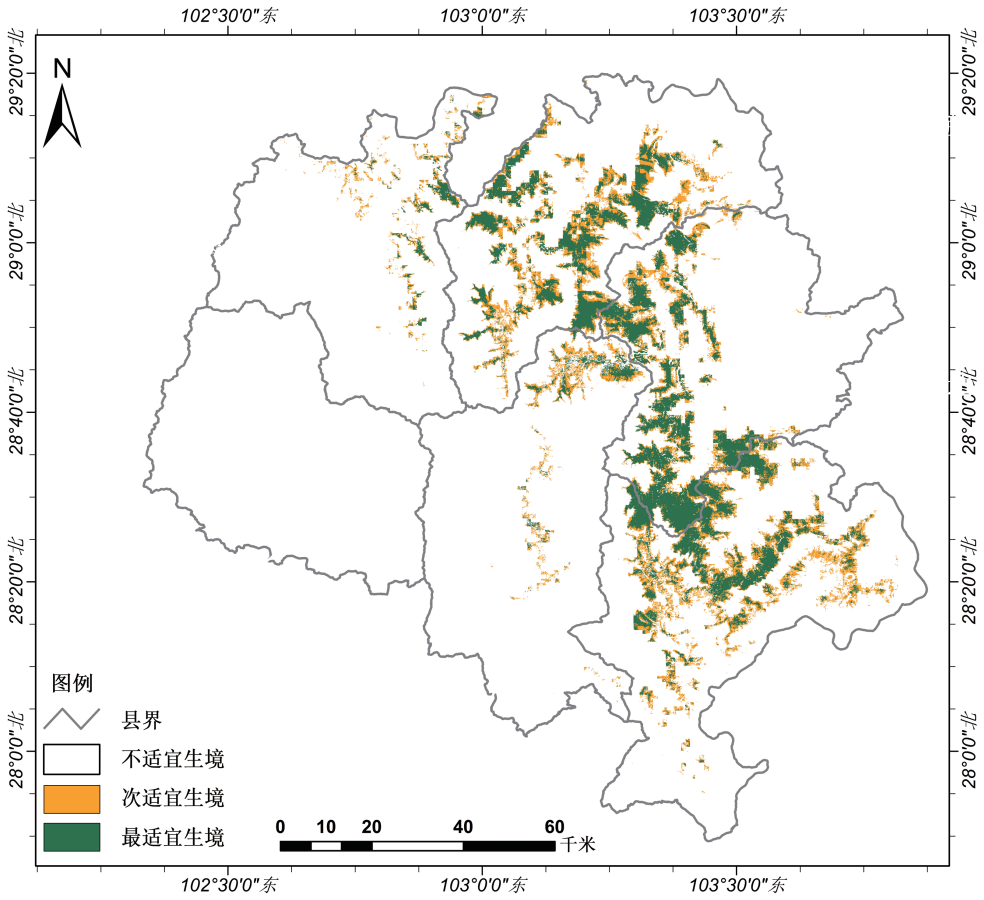


图 3 MaxEnt 模型模拟凉山山系珙桐分布

Fig. 3 Modeling distribution of *Davidia involucrate* in Liangshan Mountains by MaxEnt

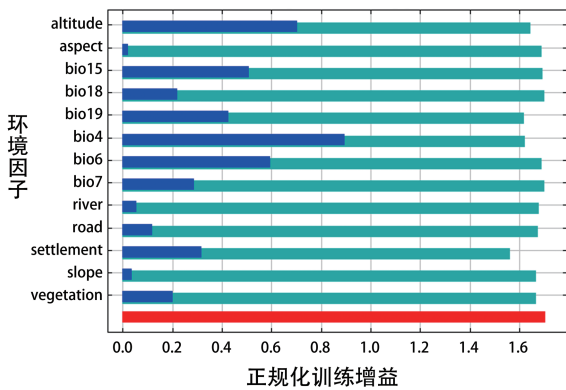


图 4 刀切法检验 13 环境变量对珙桐分布增益的重要性

Fig. 4 Effects of 13 environmental variables on gain of distribution using Jackknife test

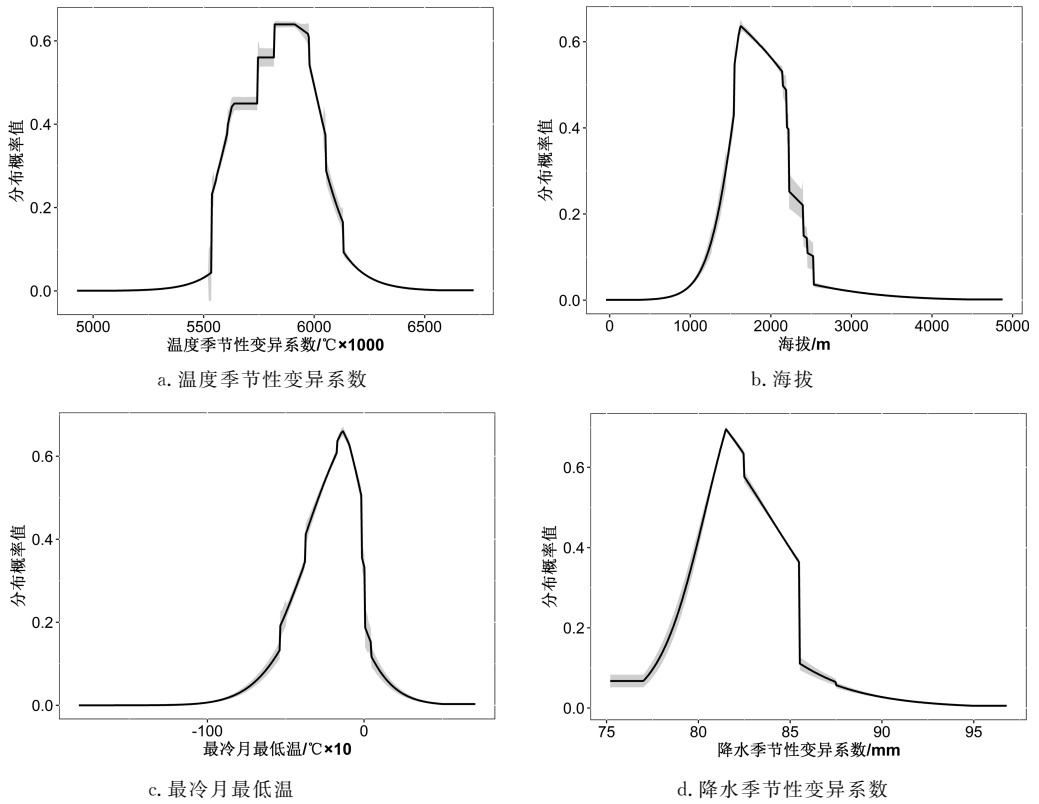
### 4 讨论

近年来, MaxEnt 模型被广泛应用于入侵动植物和珍稀、濒危、保护动植物等的适宜栖息地分布预测。环境变量及适生概率阈值的选取对模型预测

结果尤为重要。本文根据珙桐的生态特性考虑了气候、地形、植被、河流、人居等环境因子对珙桐生境分布的影响, 从模拟结果看, AUC 值达到 0.9229, 属于非常好的模拟水平。本研究选取的是常用的适生概率阈值, 仅有极少数珙桐实际分布点位于划分的不适宜栖息地, 绝大部分珙桐实际分布点位于划分的适宜生境范围内, 所以模型预测结果能较好地反应珙桐生境的实际分布范围及质量。

#### 4.1 凉山山系珙桐分布状况

在垂直方向上, 凉山山系珙桐较为集中分布在海拔 1500~2300 m 的中山地带, 该地带群落外貌较多为落叶阔叶林以及常绿落叶阔叶混交林<sup>[18]</sup>, 这与卧龙、峨眉山、都江堰龙池一带的珙桐垂直分布一致<sup>[25,26]</sup>, 而比四川盆地以东的珙桐种群分布海拔更高, 且海拔跨度更大<sup>[5]</sup>。在水平方向上, 凉山山系珙桐较为集中地分布在小凉山地区的雷波、马边及峨边 3 县, 虽然这 3 个县都有自然保护区, 但很大部分珙桐分布在保护区外。



a. 温度季节性变异系数      b. 海拔  
c. 最冷月最低温      d. 降水季节性变异系数

图 5 预测分布值与对珙桐分布增益最大的 4 项环境变量的响应曲线

(黑色曲线表示 MaxEnt 重复运行 10 次的平均值, 灰色阴影表示平均值  $\pm$  1 标准差)

Fig. 5 Response curves between prediction value and 4 environmental variables that affect *Davidia involucrate* most on gain of distribution

(black curves; mean response of the 10 replicate Maxent runs; gray shades; and and the mean  $\pm$  one standard deviation.)

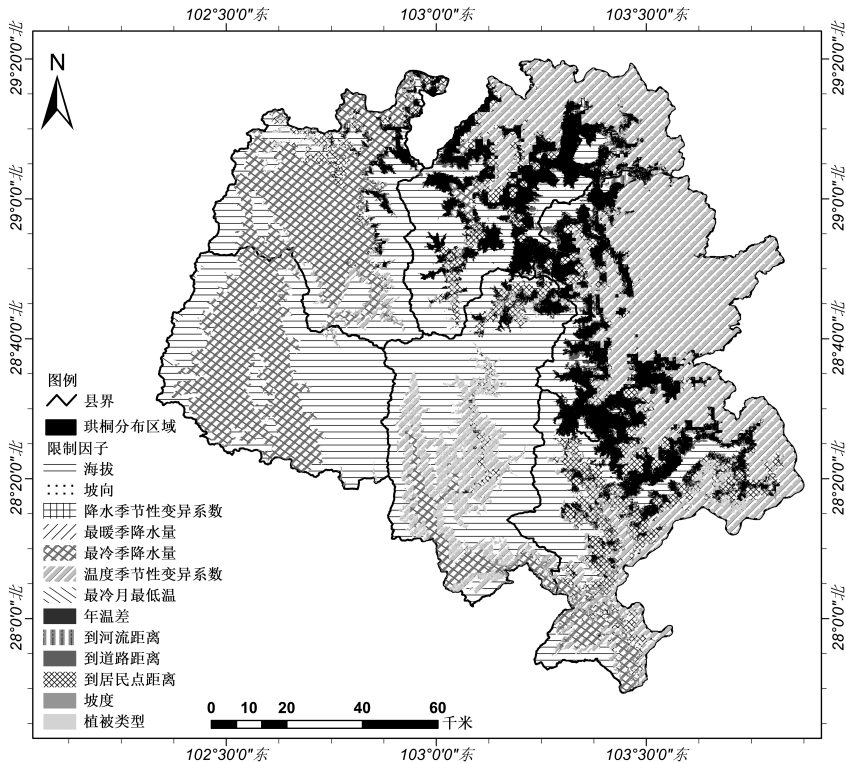


图 6 影响珙桐分布格局的限制因子

Fig. 6 Limiting factors that influence the distribution pattern of *Davidia involucrate*

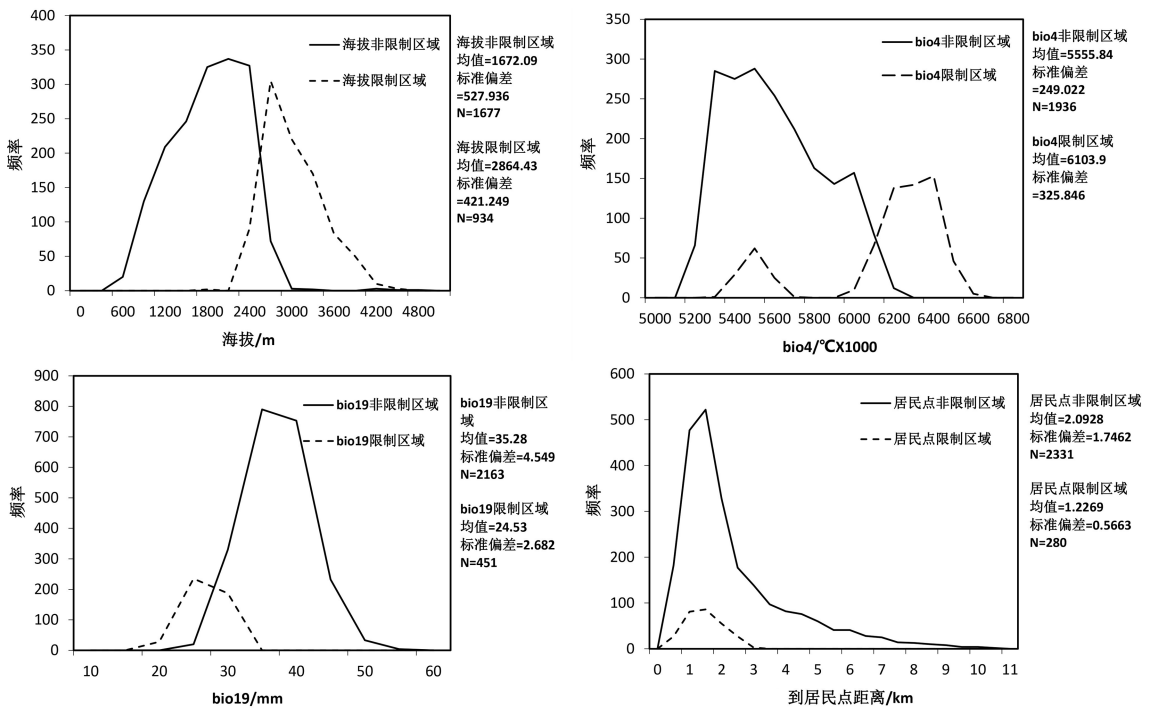


图7 影响珙桐分布格局的4项限制因子的限制值

Fig. 7 Limit values for 4 limiting factors that influence on the distribution pattern of *Davidia involucrate*

## 4.2 影响珙桐分布的生态因子

珙桐适宜生境的环境特征以及限制珙桐向外扩散的环境特征共同决定了凉山山系珙桐的分布格局。一方面气候因子对珙桐水平分布格局有重要影响。本文在以往研究<sup>[5,16]</sup>的基础上进一步阐明了凉山山系的珙桐适宜分布的气候特征,主要表现为温度和降水在季节间变化不大、最冷月最低温较高、最冷月降水量较多。因此气候的季节间变化比某一季节的具体气候特征更为重要,冬季较温和湿润的气候比其他季节的气候特点更能影响珙桐的生长发育。另一方面海拔、到居民点距离对珙桐的垂直分布格局和水平分布格局均有重要影响。本文分析结果表明,较高海拔会限制珙桐的分布,而在较低海拔区域限制珙桐分布的主要因子不是海拔,而是到居民点距离,因为人类居住区以及农耕区主要分布在中低海拔和河谷区域,使得珙桐分布区域边缘有一定程度的破碎化趋势。

## 4.3 凉山山系珙桐面临的威胁及保护措施

本文研究结果显示,凉山山系的珙桐种群数量大,部分区域形成了较大面积的珙桐群系。已有研究表明,珙桐在物种水平上具有较高的遗传多样性<sup>[27,28]</sup>,而且人工繁育也已经成功<sup>[29]</sup>。因此仅从分布面积和种群数量看,珙桐不应是一个濒危物种,但由于珙桐具有独特的研究、美学、文化及生态

价值,还是应该加强对该物种的保护,特别应加强对保护区外的大面积珙桐生境的保护及关键连接区域的恢复,以促进山系内珙桐资源的生长和生境的连接。

致谢 感谢四川省林业厅提供的四川省第四次大熊猫调查相关资料,四川省第四次大熊猫调查队队员,参加野外调查的本实验室人员张语克、严勇、何兴成等。

## 参考文献:

- [1] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴: 第二册 [M]. 北京: 科学出版社, 1972: 984.
- [2] 中国植被编委会. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 84.
- [3] 傅立国. 中国植物红皮书: 第一册 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 474.
- [4] 方文培, 宋滋圃. 中国植物志增补资料 2. 珙桐科 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 1975, 12: 67.
- [5] 贺金生, 林洁. 我国珍稀特有植物珙桐的现状及其保护 [J]. 生物多样性, 1995, 3: 213.
- [6] 杜玉娟. 孑遗植物珙桐的群体遗传学和谱系地理学研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [7] 李雪萍, 朱文琰, 贺春玲, 等. 珍稀濒危植物珙桐与其变种光叶珙桐的差异初探 [J]. 中国农学通报, 2012, 28: 1.
- [8] 焦健, 田波生, 孙学刚. 甘肃文县珙桐群落的区系

- 组成结构特征[J]. 甘肃农大学学报, 1998(1): 57.
- [9] 马宇飞, 李俊清. 湖北七姊妹山珙桐种群结构研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27: 12.
- [10] 刘海洋, 金晓玲, 沈守云, 等. 湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态[J]. 生态学报, 2012, 32: 7738.
- [11] 朱利君, 苏智先, 胡进耀, 等. 珙桐群落种间关系的研究[J]. 广西植物, 2006, 26: 32.
- [12] 雷妮娅, 陈勇, 李俊清, 等. 四川小凉山珙桐更新及种群稳定性研究[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29: 26.
- [13] 张清华, 郭泉水, 徐德应, 等. 气候变化对我国珍稀濒危树种——珙桐地理分布的影响研究[J]. 林业科学, 2000, 36: 47.
- [14] 吴建国, 吕佳佳. 气候变化对珙桐分布的潜在影响[J]. 环境科学研究, 2009, 22: 21.
- [15] 陶程程. 孑遗植物珙桐 (*Davidia involucrata* Bailon) 的谱系地理学研究[D]. 昆明: 昆明植物所, 2014.
- [16] 张家勋, 李俊清. 珙桐的天然分布和人工引种分析[J]. 北京林业大学学报, 1995(1): 25.
- [17] 胡进耀, 苏智先, 黎云祥. 珙桐生物学研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22: 15.
- [18] 杨彪. 四川大小凉山森林群落结构比较分析[D]. 成都: 四川大学, 2007.
- [19] 谢登峰, 童芬, 杨丽娟, 等. MaxEnt 模型下的外来入侵种香丝草在中国的潜在分布区预测[J]. 四川大学学报: 自然科学版. 2017, 54: 423.
- [20] 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: 365.
- [21] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. *Ecol Model*, 2013, 190: 231.
- [22] Yang X Q, Kushwaha S P S, Saran S, *et al.* MaxEnt modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda*, L. in Lesser Himalayan foothills [J]. *Ecol Eng*, 2013, 51: 83.
- [23] Jiménez-Valverde A, Lobo J M. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence [J]. *Acta Oecol*, 2007, 31: 361.
- [24] Elith J, Kearney M, Phillips S. The art of modeling range - shifting species [J]. *Methods Ecol Evol*, 2010, 1: 330.
- [25] 杨一川, 李体俊. 四川峨眉山珙桐群落的初步研究[J]. 植物生态学报, 1989, 13: 270.
- [26] 沈泽昊, 林洁. 四川都江堰龙池地区珙桐群落生态初步研究[J]. 植物科学学报, 1998, 16(1): 54.
- [27] 张玉梅, 徐刚标, 申响保, 等. 珙桐天然种群遗传多样性的 ISSR 标记分析[J]. 林业科学, 2012, 48: 62.
- [28] Song C, Bao M. Genetic Diversity of RAPD Mark for Natural *Davidia involucrata* Populations [J]. *Front Forest China*, 2006, 1: 95.
- [29] 唐晓军. 珙桐的引种繁殖技术[J]. 林业工程学报, 2002, 16: 51.

#### 引用本文格式:

中文: 陈俪心, 和梅香, 王彬, 等. 基于 MaxEnt 模型的凉山山系珙桐种群适宜生境分布及其影响因素分析[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2018, 55: 873.

英文: Chen L X, He M X, Wang B, *et al.* Analysis of suitable habitat distribution and its influence factors of *Davidia involucrata* in Liangshan Mountains based on MaxEnt model [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci Ed*, 2018, 55: 873.