

DOI: 10.5846/stxb201906031167

杨彪,张全建,王彬,龚旭,段晨松,张远彬.基于 MaxEnt 模型的雅砻江冬麻豆生境适宜性评价.生态学报,2020,40(17):6077-6085.

Yang B, Zhang Q J, Wang B, Gong X, Duan C S, Zhang Y B. The habitat suitability evaluation of *Salweenia bouffordiana* based on MaxEnt model. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(17): 6077-6085.

基于 MaxEnt 模型的雅砻江冬麻豆生境适宜性评价

杨 彪¹, 张全建^{2,3}, 王 彬¹, 龚 旭^{2,3}, 段晨松^{2,3}, 张远彬^{2,*}

1 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 西华师范大学, 南充 637002

2 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:雅砻江冬麻豆(*Salweenia bouffordiana*)是近年发现的西南特有冬麻豆属新濒危种,主要分布于四川新龙县的雅砻江河谷。开展其生境适宜性评价及其影响因素分析是对其有效保护的前提和基础。基于 2015 年 8 月在雅砻江河谷调查获得的 55 个分布点,结合 24 个环境变量数据,利用最大熵模型分析影响雅砻江冬麻豆生境的主要环境因子及其适宜生境预测。结果表明:(1)AUC(曲线下面积)值高于 0.9,模型具有较高的准确度,适宜于雅砻江冬麻豆的生境适宜性预测和评估;(2)年均温、最湿月降水、昼夜温差月均值和距河流距离是影响雅砻江冬麻豆生境的最主要环境变量,其最适生境环境变量组合为年均温 7.9℃、最湿月降水 120—124 mm、昼夜温差月均值 13.8℃以及距河流距离 33 m;(3)雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境面积分别约为 4.83×10³ hm²和 2.37×10⁴ hm²,但仅约 7.56×10² hm²的潜在适宜生境和 3.28×10³ hm²的潜在次适宜生境位于现有自然保护区管辖范围内。雅砻江冬麻豆的潜在适生区主要沿雅砻江河谷呈狭长的条带状分布,现存区受人类活动影响大,未有生物学地位定级,应尽快确定其生物学保护地位,建立保护小区或社区保护地进行就地保护。

关键词:雅砻江冬麻豆;最大熵模型;生境;适宜性评价

The habitat suitability evaluation of *Salweenia bouffordiana* based on MaxEnt model

YANG Biao¹, ZHANG Quanjian^{2,3}, WANG Bin¹, GONG Xu^{2,3}, DUAN Chensong^{2,3}, ZHANG Yuanbin^{2,*}

1 Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resource Conservation, China West Normal University, Ministry of Education, Nanchong 637002, China

2 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: *Salweenia bouffordiana* is a recently discovered endangered endemic species in southwest China, which mainly distributes along the valley of Yalong River in Xinlong County, Sichuan Province. The effective conservation of *S. bouffordiana* lies on evaluation of habitat suitability. The MaxEnt model is employed to identify the primary impact factors of the habitat of *S. bouffordiana* and to predict and evaluate its potentially suitable habitats. The analysis is based on 24 environmental variables of the area and data of field investigation along the Yalong river valley in 55 distribution points. We found that: (1) the AUC (area under ROC curve) value is over 0.9, indicating that the predictive effect of this model is appropriate, and the model can be used to predict and assess the habitat suitability of *S. bouffordiana*. (2) Mean annual temperature, precipitation of wettest month, mean diurnal temperature range and distance to river are the most predominant environmental variables affecting the habitat suitability of *S. bouffordiana*. The most suitable combination of environmental variables is a mean annual temperature of 7.9 °C, a precipitation of wettest month of 120—124 mm, a mean diurnal

基金项目:四川省重大科技专项课题(2018SZDZX0035)

收稿日期:2019-06-03; 网络出版日期:2020-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyb@imde.ac.cn

temperature range of 13.8 °C and a distance of 33 m to river. (3) The areas of potential suitable and sub-suitable habitats for *S. bouffordiana* are 4.83×10^3 hm² and 2.37×10^4 hm², respectively. However, only potential suitable habitats of 7.56×10^2 hm² and sub-suitable habitats of 3.28×10^3 hm² are within the jurisdiction of the existing nature reserves. The potential habitats are limited and mainly distributed along the valley. There are existing human activities to hamper the development and propagation of the population of *S. bouffordiana* in the current survival areas. In addition, the biological status of *S. bouffordiana* has not yet been assessed and determined. We suggest that the assessment and determination of biological status for *S. bouffordiana* should be put on the agenda. Small nature protected areas or community protected areas should be introduced for *in-situ* conservation.

Key Words: *Salweenia bouffordiana*; MaxEnt model; habitat; suitability evaluation

极小种群是指地理分布狭窄,长期受到外界因素的干扰和压力,其数量小于防止灭绝所需的最低限度的种群^[1]。濒危物种是指所有由于物种自身的原因或受到人类活动或自然灾害的影响而有灭绝危险的野生动植物^[2]。任何特有种都可能受到其有限分布的威胁^[3],且种群灭绝的概率与其种群大小呈负相关^[4],在自身和外界因素的作用下,濒危物种可转变为极小种群甚至灭绝。物种灭绝是全球最严重的生态问题之一,直接威胁着人类社会的可持续发展^[5]。雅砻江冬麻豆(*Salweenia bouffordiana*)是近年发现的冬麻豆属(*Salweenia*)新种,主要分布于四川省新龙县境内的雅砻江河谷的干燥灌丛和砾石生境中,海拔 2700—3600 m^[6]。《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》将其定为濒危(Endangered, EN)物种^[7],Yue 等根据世界自然保护联盟(IUCN)条例将其定级为极度濒危(Critically Endangered, CR)^[6],但世界保护联盟并未对其进行定级。濒危物种的主要受威胁因素包括环境变化^[8]、生物相互作用^[9]以及自身遗传限制^[10]等,其中环境和种群的随机性在小种群中是最重要的,其可造成濒危植物物种灭绝^[4]。对生物,尤其是保护生物的生境评价,是分析这些物种种群减少、濒危原因的重要手段,同时还能制定合理的保护对策提供依据^[11]。因此,对雅砻江冬麻豆种群的生境进行适宜性评价及其影响因素分析具有重要的科学和现实意义。

目前,最常用的预测物种潜在分布的生态位模型有 Bioclim^[12](Bioclimatic prediction system)、Domain^[13](Domain model)、GARP^[14](Genetic algorithm for rule-set prediction)、ENFA^[15](Ecological niche factor analysis)和 MaxEnt (Maximum entropy approach)。其中,最大熵模型(MaxEnt)是最具代表性的生态位模型^[16],比其他四种模型预测的结果精确度更高^[17-18]。该模型仅需物种的实际分布点即可进行预测,且即使在分布点数据较少的情况下也具有较好的预测效果^[16, 18-21],并可检验预测结果^[22]。此外,与马氏典型性模型(Mahalanobis Typicalities)和随机森林相比,最大熵模型也具有一定的优势^[23]。现已有基于 MaxEnt 模型预测了伯乐树(*Bretschneidera sinensis*)^[24]、独叶草(*Kingdonia uniflora*)^[25]、麻疯树(*Jatropha curcas*)^[26]、云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)^[27]、构树(*Broussonetia papyrifera*)^[28]、黄槿(*Amur corktree*)^[29]、珙桐(*Davidia involucrata*)^[30]、双花木属(*Disanthus*)植物^[31]等植物的潜在适生区,并基于 MaxEnt 模型对气候变化下银杉(*Cathaya argyrophylla*)、东北红豆杉(*T. cuspidata*)、喙核桃(*Annamocarya sinensis*)、长序榆(*Ulmus elongata*)、观光木(*Tsoongiodendron odorum*)和紫荆木(*Madhuca pasquieri*)六个极小种群的潜在优先保护区(Priority conservation areas, PCAs)的预测^[32],均得到了较好的预测效果,能较为准确地反映物种潜在适生区和优先保护区,也能在一定程度上为相关珍稀物种的保护计划提供指导、为经济物种的种植提供建议。

基于雅砻江冬麻豆的潜在价值、生存现状以及 MaxEnt 模型的优势,本研究运用 MaxEnt 模型对雅砻江冬麻豆适宜生境进行了预测和评价,并分析其影响因素,以期能借助模拟的预测结果为雅砻江冬麻豆的保护提供科学合理的有效策略。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省新龙县中心及周边区域,经纬度范围:99°50'E—100°47'E、30°25'N—31°17'N,海拔

2692—5150 m,总面积 8435 km²;研究区为雅砻江中游高山峡谷地带,属青藏高原型季风气候,具有独特的大陆性高原季风气候的特点。根据新龙县气象站多年统计资料:其年平均气温为 7.5℃,极端最高温 32.7℃,极端最低温-19.2℃,一月均温-2.3℃,七月均温 15.1℃,≥10℃活动积温 1887℃,相对湿度在 40%左右,全年无霜期 114 d。受东南、西南季风交汇影响,年降水量 600—700 mm,降水量分布不均,主要集中于 6 月至 9 月。植被群落主要有干旱河谷灌丛、亚高山暗针叶林、高山松林、高山柏林、栎类林、桦木林、亚高山草甸、高山草甸等类型。

1.2 调查方法

由于雅砻江冬麻豆主要生长在雅砻江河谷地带,故沿河岸 1 km 范围随机布设调查样线 8 条,在有雅砻江冬麻豆种群分布的地段设置 5 m×5 m 样方做常规的种群调查,本研究调查样方共 55 个,并记录样方的经纬度、海拔、坡向、坡度等地形因子,植被类型、距河流距离等生境信息,以及放牧、滑坡、公路、水电站、输电工程、居民生活垃圾堆场等干扰信息。使用 GPS、罗盘等设备确定经纬度、海拔、坡度、坡向等地形因子,利用测高仪和卷尺等测量距河流距离等,干扰信息通过直接观察法记录发生地点和点数。

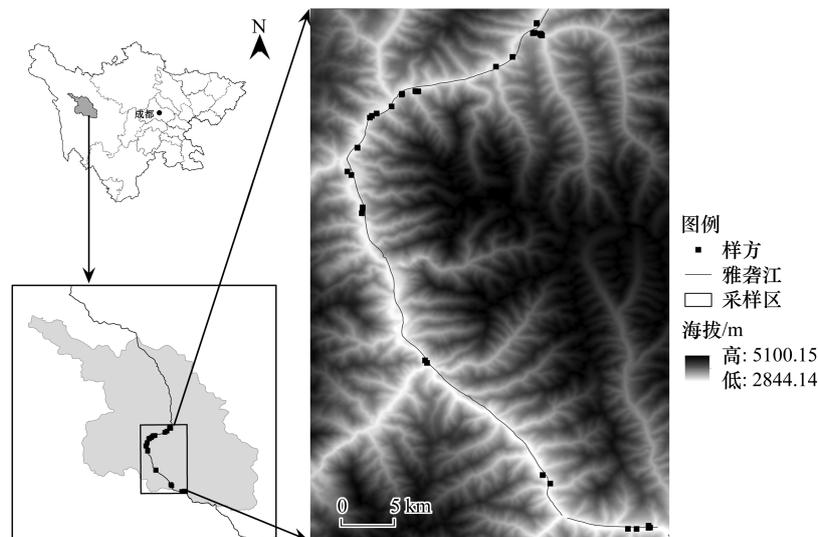


图 1 雅砻江冬麻豆调查样方分布图

Fig.1 The distribution map of *S. bouffordiana* investigation quadrats

1.3 数据处理和研究方法

1.3.1 物种分布点数据

通过 2015 年 8 月野外调查共获得 55 个雅砻江冬麻豆分布位点,为避免模型的过度拟合,以 100 m 为阈值对分布点进行筛选。当多个分布点间的距离小于 100 m 时,随机保留其中一个,其余删除。最终,共保留 31 个雅砻江冬麻豆分布点进入 MaxEnt 模型。

1.3.2 环境变量数据

本研究的 DEM 数据来源于中国科学院数据库,其分辨率为 30 m×30 m。通过 ArcGIS 10.3 软件中的空间分析工具从 DEM 数据图层中提取出研究区坡度数据图层、坡向数据图层。由于坡向主要是通过影响阳光的照射而影响植物的生长活动,而坡向数据又为圆周变量,因此对坡向数据采取提取值减去 180°后取绝对值方法处理,以此来反映各栅格对正南阳坡的靠近程度。同时,利用 ArcGIS 软件中的空间分析插件,计算河流图层的欧氏距离以反映各栅格距离其最近河流的距离。从 WorldClim 数据库 (<http://www.worldclim.org/>) 下载得到 WorldClim 2.0 的 19 个生物气候变量 (Bioclimatic variable)。在 ArcGIS 软件中将 24 个环境变量 (表 1) 图层的栅格大小统一重采样为 30 m×30 m,将坐标系统一投影为 WGS-1984-UTM-Zone-47N,并将图层边界统

一。植被类型图层分类到植被型,共 12 类:草甸 10,常绿针叶灌丛 20,常绿草叶灌丛 30,落叶阔叶灌丛 40,常绿阔叶灌丛 50,灌丛 60,寒温性针叶林 70,温性针叶林 80,暖性针叶林 90,落叶阔叶林 100,硬叶常绿阔叶林 110,果林和用材林 120。然后将所有环境变量图层转化为 MaxEnt 模型软件需要的 ASCII 格式的文件。

表 1 环境变量及其相关信息

Table 1 Environment variables and the relative information

| 变量缩写 Variable abb. | 描述 Description | 单位 Unit | 原始分辨率 Primary Resolution |
|-----------------------|---|------------|-----------------------------|
| bio01 | 年均温 Mean annual temperature | ℃ | 1 km |
| bio02 | 昼夜温差月均值 Mean diurnal temperature range | ℃ | 1 km |
| bio03 | 等温性(bio2/bio7) Isothermal property | ratio | 1 km |
| bio04 | 温度季节性 Standard deviation of seasonal variation of temperature | 标准差 | 1 km |
| bio05 | 最热月最高温 Max temperature of warmest month | ℃ | 1 km |
| bio06 | 最冷月最低温 Min temperature of coldest month | ℃ | 1 km |
| bio07 | 年温差(bio5-bio6) Temperature annual range | ℃ | 1 km |
| bio08 | 最湿季均温 Mean temperature of wettest quarter | ℃ | 1 km |
| bio09 | 最干季均温 Mean temperature of driest quarter | ℃ | 1 km |
| bio10 | 最热季均温 Mean temperature of warmest quarter | ℃ | 1 km |
| bio11 | 最冷季均温 Mean temperature of coldest quarter | ℃ | 1 km |
| bio12 | 年降水 Annual precipitation | mm | 1 km |
| bio13 | 最湿月降水 Precipitation of wettest month | mm | 1 km |
| bio14 | 最干月降水 Precipitation of driest month | mm | 1 km |
| bio15 | 降水季节性 Precipitation seasonality | 变异系数 | 1 km |
| bio16 | 最湿季降水 Precipitation of wettest quarter | mm | 1 km |
| bio17 | 最干季降水 Precipitation of driest quarter | mm | 1 km |
| bio18 | 最热季降水 Precipitation of warmest quarter | mm | 1 km |
| bio19 | 最冷季降水 Precipitation of coldest quarter | mm | 1 km |
| vegetation | 植被类型 Vegetation type | 分类,12 类 | 30 m |
| altitude | 海拔高度 Altitude | m | 30 m |
| aspect | 坡向(实际坡向减 180°的绝对值) Aspect | ° | 30 m |
| slope | 坡度 Slope | ° | 30 m |
| d_river | 距河流的距离 Distance to river | m | 提取 |

1.3.3 模型过程

本研究使用 MaxEnt 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/MaxEnt/>) 软件进行雅砻江冬麻豆生境适宜性评价。为避免环境变量的空间共线性对 MaxEnt 模型准确性的影响,对环境变量进行 Pearson 相关性分析,删除相关系数绝对值大于 0.8 的变量^[33],最终保留了 8 个环境变量进入最终模型。建模中随机选取 75% 的分布点作为训练数据集用于建立模型,剩余 25% 的分布点作为检验数据集用于模型验证,其余设置保持为默认。为保证模型结果的稳定性,进行 20 次自举法重复。以软件内建的变量贡献分析、响应曲线和 Jackknife(刀切法)检验分析模型中各环境变量的相对重要性及其对雅砻江冬麻豆生境适宜性的影响。以受试者工作特征(Receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(Area under curve, AUC)对模型结果的优劣进行评价,其评判标准为:AUC 在 0.5—0.6 为失败;0.6—0.7 为较差;0.7—0.8 为一般;0.8—0.9 为好;0.9—1 为非常好^[34]。

1.3.4 生境评价

选择逻辑斯蒂格式输出 MaxEnt 模型的预测结果。根据 20 次重复后 MaxEnt 模型输出的平均生境适宜度指数(Habitat suitability index, HSI)对研究区雅砻江冬麻豆的生境质量进行评价。在 ArcGIS 10.3 软件中以最大约登指数(Youden's index)和 TPT 平衡阈值对模型预测分布图进行重分类,其中,TPT 平衡阈值为平衡训练

遗漏(Training omission)、预测面积(Predicted area)和阈值(Threshold value)基础之上的一个较为保守的二分类阈值(TPT 为其首字母缩写)。根据 MaxEnt 模型所输出的最大约登指数、TPT 平衡阈值以及实际分布区和野外调查结果,并参考相关文献^[24-28],将本研究模型预测的雅砻江冬麻豆生境预测结果重分类为适宜生境(HIS>0.2536)、次适宜生境(0.0044<HSI≤0.2536)和不适宜生境(HSI≤0.0044)。利用 ArcGIS 软件计算研究区雅砻江冬麻豆的各级别生境面积。

2 结果与分析

2.1 MaxEnt 模型验证结果

ROC 曲线评价结果值显示,雅砻江冬麻豆生境预测模型训练集 AUC 值为 0.998,测试集的 AUC 值为 0.996(图 2)。根据 AUC 评价标准表明 MaxEnt 模型结果比较精确,已经达到了非常好的水平,亦说明该模型适宜用于评估雅砻江冬麻豆的生境适宜性。

2.2 环境影响因子

从环境变量对 MaxEnt 模型的贡献率表明:年均温、最湿月降水、距河流距离是贡献率最高的 3 个环境变量,其贡献率分别为 54.2%、26.1%和 11.0%,累计贡献 91.3%的影响效应(表 2),表明年均温、最湿月降水、距河流距离是影响雅砻江冬麻豆生境的主要环境影响因子。坡向、昼夜温差月均值和植被的贡献率分别为 3.2%、2.5%和 2.5%(表 2),表明坡向、昼夜温差月均值和植被为雅砻江冬麻豆的次要影响因子。坡度、年温差和最干月降水的贡献率均为 0.2%(表 2),表明其对雅砻江冬麻豆的生境影响较小。

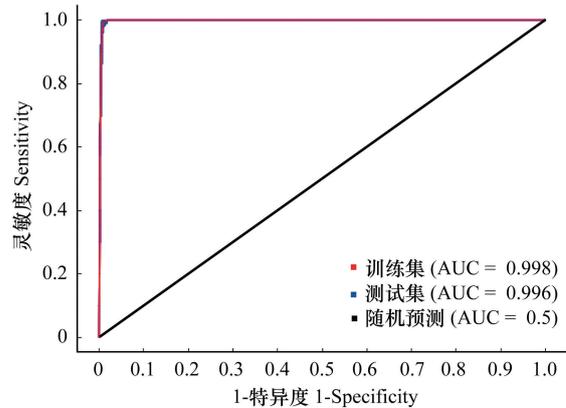


图 2 20 次模拟的 ROC 曲线

Fig.2 ROC curve of 20 times simulation results

表 2 环境变量对最大熵模型的贡献率

Table 2 Contributions of the environmental variables to the MaxEnt model

| 变量 Variables | 贡献率 Contribution/% | 变量 Variables | 贡献率 Contribution/% |
|--|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| 年均温 Mean annual temperature | 54.2 | 植被类型 Vegetation type | 2.5 |
| 最湿月降水 Precipitation of wettest month | 26.1 | 坡度 Slope | 0.2 |
| 距河流距离 Distance to river | 11.0 | 年温差 Temperature annual range | 0.2 |
| 坡向 Aspect | 3.2 | 最干月降水 Precipitation of driest month | 0.2 |
| 昼夜温差月均值 Mean diurnal temperature range | 2.5 | | |

AUC 值的 Jackknife 检验显示,年均温(bio01)、最湿月降水(bio13)、昼夜温差月均值(bio02)和距河流距离(d_river)对模型的影响较大,而年均温提供了最大的增益(图 3),说明年均温独立使用时比其他变量包含更多有用信息,对雅砻江冬麻豆的生境影响最大;最湿月降水、昼夜温差月均值和距河流距离均提供了较大增益(图 3),说明其对雅砻江冬麻豆的生境影响较大。最干月降水(bio14)、年温差(bio07)和植被类型对模型的影响一般,有适度增益(图 3),表明其单独使用时包含信息一般。而坡向和坡度在单独使用时增益较低(图 3),表明其包含信息量较少。因此,年均温、最湿月降水、昼夜温差月均值和距河流距离是影响雅砻江冬麻豆生境质量的重要影响因子,此结果与环境变量对最大熵的贡献率基本一致。

从单因子响应曲线来看,雅砻江冬麻豆的适宜生境条件为:最湿月降水 120 mm—127 mm、昼夜温差月均值 13.4—14.3℃、年均温 7.4—8.3℃、距河流距离小于 148 m(图 4)。其中,最湿月降水为 120—124 mm、昼夜

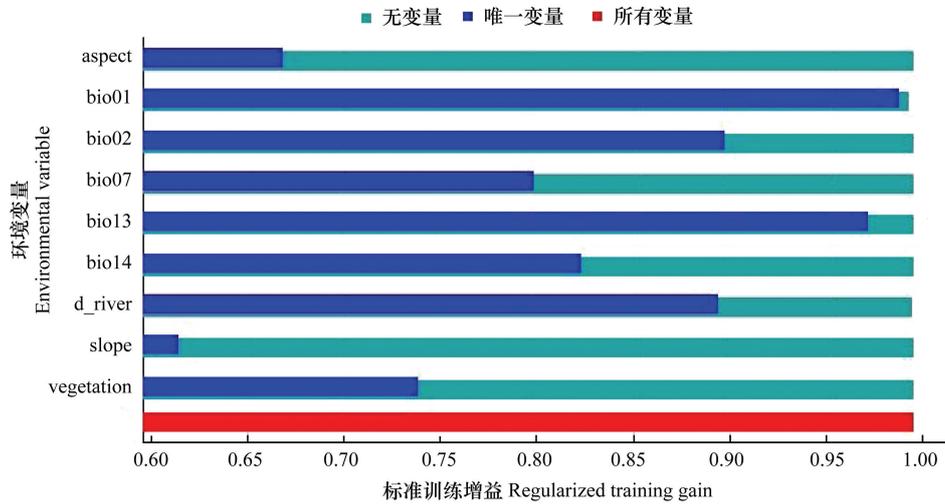


图3 标准训练增益

Fig.3 Regularized training gains

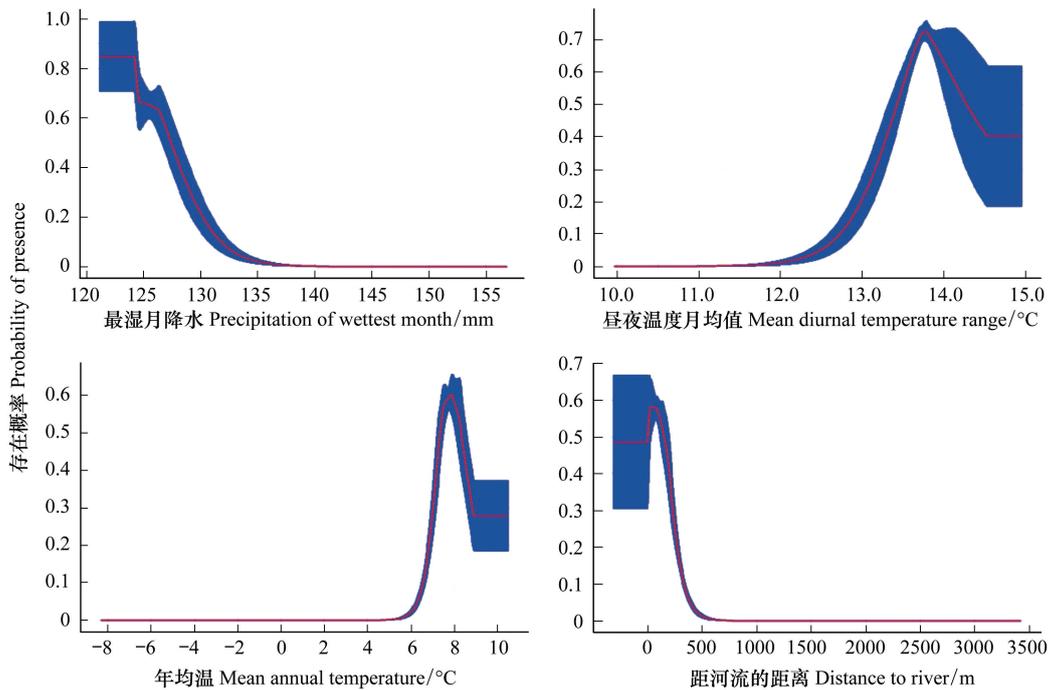


图4 雅砻江冬麻豆主导环境变量响应曲线

Fig.4 The response curves on dominant environmental variables of *S. bouffordiana*

温差月均值为 13.8℃、年均温为 7.9℃以及距河流距离 33 m 是雅砻江冬麻豆最适生境的环境因子变量组合 (图 4),说明雅砻江冬麻豆对生存环境要求苛刻。

2.3 生境评价与分布现状

在总面积约 $8.44 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的评价区域内,潜在适宜生境面积约 $4.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$,约占评价区总面积的 0.57%;潜在次适宜面积约 $2.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占评价区总面积的 2.81% (图 5),表明雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境面积狭小。在雅砻江冬麻豆约 $4.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 的潜在适宜生境面积中,仅有约 $7.56 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 位于四川扎嘎神山、朗村和友谊保护区管辖范围内,仅约占潜在适宜生境总面积的 15.67%,其余潜在适宜生境均

未在现有保护区内(图 5);同时,在雅砻江冬麻豆约 $2.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的潜在次适宜生境面积中,仅有约 $3.28 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 位于四川扎嘎神山、朗村和友谊保护区管辖范围内,约占潜在次适宜生境总面积的 13.85%(图 5);此外,雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境面积仅约占评价区总面积的 3.38%,且集中沿雅砻江河谷呈狭长的带状分布(图 5)。表明甚少部分雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境位于现有保护区管辖范围内,这一现状不利于雅砻江冬麻豆种群的生存繁衍。

3 讨论

雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境面积分别约为 $4.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $2.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$,分别约占评价区总面积的 0.57% 和 2.81%,分布范围非常狭窄。有研究表明,MaxEnt 模型模拟的结果可能偏大^[23,35],这说明雅砻江冬麻豆的实际适生区面积可能比模拟结果小。另外,雅砻江冬麻豆最适生境的环境因子变量组合为最湿月降水 120—124 mm、昼夜温差月均值为 13.8℃、年均温为 7.9℃以及距河流距离为 33 m,进一步显示出其适生区面积狭小,也显示出其对生存环境要求苛刻的特点。

MaxEnt 模型模拟结果显示雅砻江冬麻豆的潜在适生区主要沿雅砻江干流和支流河谷呈条带状分布,且距离河流距离小于 148 m,这些生境区域内分布着众多居民点和公路(图 6),表明雅砻江冬麻豆生境与人类居住区、生活区重叠,受人类活动影响大。野外调查发现,雅砻江冬麻豆分布区存在诸多干扰(表 3)。其中,公路边滑坡是出现次数最高的干扰类型,其次为公路维护、放牧、输电工程、水电站和居民生活垃圾堆场(表 3),这些干扰发生地点均与人类活动相伴生。因此,雅砻江冬麻豆濒危可能是自然分布狭窄、对生存环境要求苛刻、人类活动等因素共同作用的结果。相同面积的生境,条带状分布比其他形式分布周长更长,与外界干扰接触的范围更大,受到的外界影响也更大,且雅砻江冬麻豆生存区域内干扰种类多、点位分散、强度大等因素也导致保护管理工作困难。

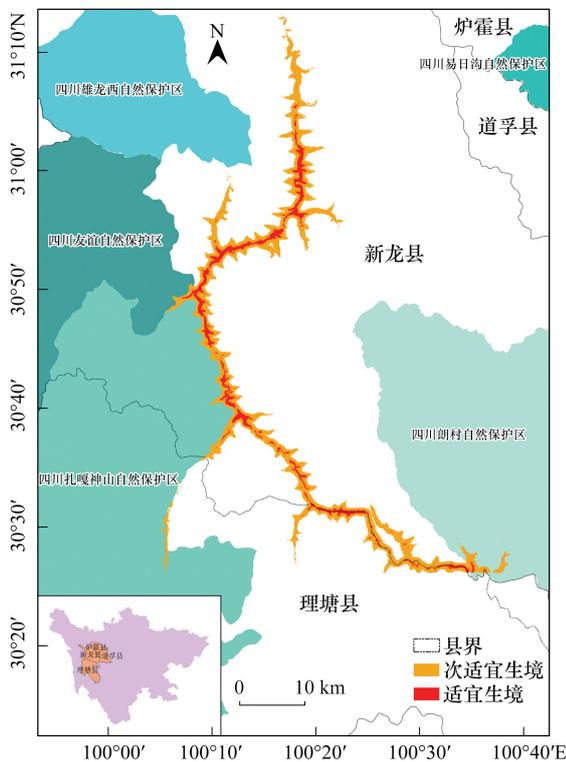


图 5 雅砻江冬麻豆生境适宜性分布图

Fig.5 The distribution of habitat suitability of *S. bouffordiana*

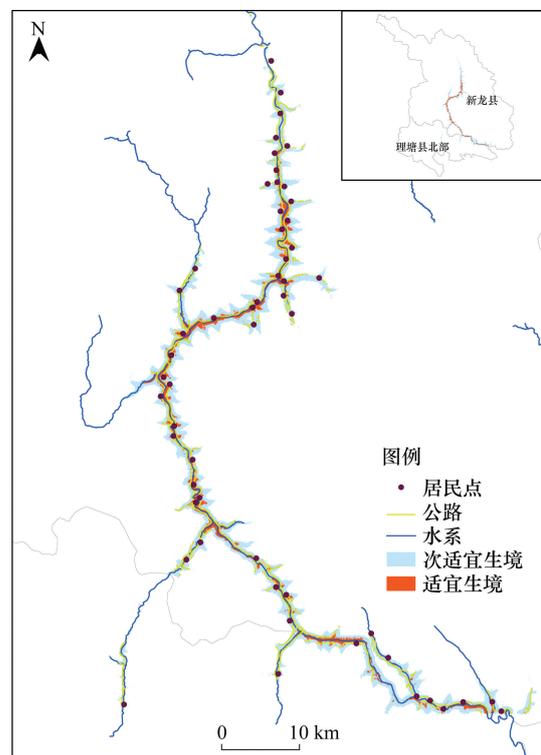


图 6 雅砻江冬麻豆模拟生境与公路、居民点分布图

Fig.6 The distributions of modeled habitats of *S. bouffordiana*, roads and residential points

表 3 雅砻江冬麻豆分布区干扰类型其发现点数

Table 3 The interference types and finding points in the distributions of *S. bouffordiana*

| 干扰类型 Interference types | 地点 Locality | 发现点数 Finding points |
|--|--------------------|------------------------|
| 放牧 Grazing | 新龙县中学后山及附近 | 3 |
| 滑坡 Landslide | 公路沿线 | 37 |
| 公路维护 Road maintenance | 新龙县人民路以西 | 6 |
| 水电站 Hydropower station | 和平乡 | 1 |
| 输电工程 Power transmission project | 新龙县人民路以西,省道 217 沿线 | 2 |
| 居民生活垃圾堆场 Residential domestic garbage yard | 新龙县人民路以西 | 1 |

有研究发现,人类活动是造成物种濒危的首要因素^[4]。本研究发现人类活动对雅砻江冬麻豆的影响巨大,减少人类活动是雅砻江冬麻豆保护的关键之一。自然保护区能有效的减少人类活动干扰,并为物种恢复提供空间,就地保护是濒危植物解危的主要措施^[36]。雅砻江冬麻豆约 84.33%的潜在适宜和 86.15%的潜在次适宜生境都处于现有保护区管辖范围外而未得到有效保护。因此,建议将这些雅砻江冬麻豆的潜在适生区在相关论证后作为潜在优先保护区划入保护区内或者在这些区域建立自然保护小区以进行物种保护。人类活动已造成雅砻江冬麻豆生境破碎化,而缓解或恢复已经破碎成块的生境是重中之重^[37],由于干扰造成不少雅砻江冬麻豆现存区可能已不适合生存,而迁地保护是一种提供长期物种保护的有效手段之一,防止在野生生物种灭绝的情况下造成损失,并为物种恢复计划提供现成的物质来源^[38]。因此,建议对已经受到强度干扰的雅砻江冬麻豆迁移至适生区进行保护。另外,雅砻江冬麻豆还未有生物学地位,而确定濒危植物种群的生物学地位是植物保护工作的第一步^[4]。因此,在上述就地保护和迁地保护的同时,应加快雅砻江冬麻豆种群的生物学地位定级,确保其能得到长期有效的关注和保护,以避免物种进一步濒危。

影响雅砻江冬麻豆种群稳定性的主要因素为年均温、最湿月降水、昼夜温差月均值以及距河流距离。雅砻江冬麻豆的潜在适宜和次适宜生境面积分别约为 $4.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $2.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要沿雅砻江干流和支流河谷呈狭长的条带状分布,其生境与居民生活区高度重叠,仅约 $4.04 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 的潜在适生区位于现有保护区管辖范围内,受人类活动影响大。建议在加快雅砻江冬麻豆生物学地位定级的基础上,进一步论证雅砻江冬麻豆现有生存区和潜在适生区划入邻近自然保护区、建立自然保护小区的可行性。

参考文献 (References):

- [1] Ren H, Zhang Q, Lu H, Liu H, Guo Q, Wang J, Jian S, Bao H. Wild plant species with extremely small populations require conservation and reintroduction in china. *Ambio*, 2012, 41(8): 913-917.
- [2] 李鹏翔. 你知道濒危物种吗. *甘肃林业*, 2002, (5): 37.
- [3] Menges E S. Population viability analysis for an endangered plant. *Conservation Biology*, 1990, 4(1): 52-62.
- [4] Schemske D W, Husband B C, Ruckelshaus M H, Goodwillie C, Parker I M, Bishop J G. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*, 1994, 75(3): 584-606.
- [5] Pimm S L, Jenkins C N, Abell R, Brooks T M, Gittleman J L, Joppa L N, Raven P H, Roberts C M, Sexton J O. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 2014, 344(6187): 1246752.
- [6] Yue X K, Yue J P, Yang L E, Li Z M, Sun H. Systematics of the genus *Salweenia* (leguminosae) from Southwest China with discovery of a second species. *Taxon*, 2011, 60(5): 1366-1374.
- [7] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 何强, 贾渝, 赵莉娜, 于胜祥, 刘慧圆, 刘博, 严岳鸿, 向建英, 夏念和, 彭华, 李振宇, 张志翔, 何兴金, 尹林克, 林余霖, 刘全儒, 侯元同, 刘演, 刘启新, 曹伟, 李建强, 陈世龙, 金效华, 高天刚, 陈文俐, 马海英, 耿玉英, 金孝锋, 常朝阳, 蒋宏, 蔡蕾, 臧春鑫, 武建勇, 叶建飞, 赖阳均, 刘冰, 林秦文, 薛纳新. 中国高等植物受威胁物种名录. *生物多样性*, 2017, 25(7): 696-744.
- [8] Urban D A, Rodriguez-Lorenzo L, Balog S, Kinnear C, Rothen-Rutishauser B, Petri-Fink A. Plasmonic nanoparticles and their characterization in physiological fluids. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces*, 2016, 137: 39-49.
- [9] Anderson S J, Sikes M L, Zhang Y F, French S L, Salgia S, Beyer A L, Nomura M, Schneider D A. The transcription elongation factor Spt5 influences transcription by RNA polymerase I positively and negatively. *Journal of Biological Chemistry*, 2011, 286(21): 18816-18824.

- [10] Breshears D D, Medowell N G, Goddard K L, Dayem K E, Martens S N, Meyer C W, Brown K M. Foliar absorption of intercepted rainfall improves woody plant water status most during drought. *Ecology*, 2008, 89(1): 41-47.
- [11] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. *生态学报*, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [12] Honig M A, Cowling R M, Richardson D M. The invasive potential of Australian Banksias in South African fynbos: A comparison of the reproductive potential of *Banksia ericifolia* and *Leucadendron lauratum*. *Australian Journal of Ecology*, 1992, 17(3): 305-314.
- [13] Carpenter G, Gillison A N, Winter J. DOMAIN: A flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation*, 1993, 2(6): 667-680.
- [14] Anderson R P, Lew D, Peterson A T. Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 2003, 162(3): 211-232.
- [15] Engler R, Guisan A, Rechsteiner L. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(2): 263-274.
- [16] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3-4): 231-259.
- [17] Kumar S, Stohlgren T J. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*, 2009, 1(4): 94-98.
- [18] Phillips S J, Dudík M. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 2008, 31(2): 161-175.
- [19] Hernandez P A, Graham C H, Master L L, Albert D L. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 2006, 29(5): 773-785.
- [20] Pearson R G, Raxworthy C J, Nakamura M, Peterson A T. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 2007, 34(1): 102-117.
- [21] Saupé E E, Qiao H J, Hendricks J R, Portell R W, Hunter S J, Soberon J, Lieberman B S. Niche breadth and geographic range size as determinants of species survival on geological time scales. *Global Ecology and Biogeography*, 2015, 24(10): 1159-1169.
- [22] Estes L D, Bradley B A, Beukes H, Hole D G, Lau M, Oppenheimer M G, Schulze R, Tadross M A, Turner W R. Comparing mechanistic and empirical model projections of crop suitability and productivity: Implications for ecological forecasting. *Global Ecology and Biogeography*, 2013, 22(8): 1007-1018.
- [23] Hernandez P A, Franke I, Herzog S K, Pacheco V, Paniagua L, Quintana H L, Soto A, Swenson J J, Tovar C, Valqui T H, Vargas J, Young B E. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(6): 1353-1366.
- [24] 龚维, 夏青, 陈红锋, 俞新华, 伍菲. 珍稀濒危植物伯乐树的潜在适生区预测. *华南农业大学学报*, 2015, 36(4): 98-104.
- [25] 徐军, 曹博, 白成科. 基于 MaxEnt 濒危植物独叶草的中国潜在适生分布区预测. *生态学杂志*, 2015, 34(12): 3354-3359.
- [26] 文检, 宋经元, 谢彩香, 张琴, 曾凡琳, 张艺. 基于最大信息熵模型的能源物种麻疯树潜在适宜区. *植物科学学报*, 2016, 34(6): 849-856.
- [27] 庄鸿飞, 秦浩, 王伟, 张殿波. 基于 MaxEnt 模型的云南红豆杉潜在适宜分布预测. *山西大学学报(自然科学版)*, 2018, 41(1): 233-240.
- [28] 吴良, 徐正刚, 张婉, 丁一, 唐永成, 赵运林. 基于 MaxEnt 模型的中国构树潜在适生分布研究. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(5): 40-45.
- [29] 黄治昊, 周鑫, 张孝然, 蒲真, 邢韶华. 我国大陆黄檗潜在分布区及分布适宜性评价. *生态学报*, 2018, 38(20): 7469-7476.
- [30] 王雨生, 王召海, 邢汉发, 厉静文, 孙硕. 基于 MaxEnt 模型的珙桐在中国潜在适生区预测. *生态学杂志*, 2019, 38(4): 1230-1237.
- [31] 孟艺宏, 徐璋, 姜小龙, 徐刚标. 双花木属植物潜在分布区模拟与分析. *生态学报*, 2019, 39(8): 2816-2825.
- [32] Qu H, Wang C J, Zhang Z X. Planning priority conservation areas under climate change for six plant species with extremely small populations in China. *Nature Conservation-Bulgaria*, 2018, 25: 89-106.
- [33] Parolo G, Rossi G, Ferrarini A. Toward improved species niche modelling: *Arnica montana* in the Alps as a case study. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(5): 1410-1418.
- [34] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [35] Boubli J, Lima M G D. Modeling the geographical distribution and fundamental niches of *Cacajao* spp. and *Chiropotes israelita* in northwestern Amazonia via a maximum entropy algorithm. *International Journal of Primatology*, 2009, 30(2): 217-228.
- [36] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析. *生态学报*, 2002, 22(9): 1512-1520.
- [37] Robinson G R, Holt R D, Gaines M S, Hamburg S P, Johnson M L, Fitch H S, Martinko E A. Diverse and contrasting effects of habitat fragmentation. *Science*, 1992, 257(5069): 524-526.
- [38] Swarts N D, Dixon K W. Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany*, 2009, 104(3): 543-556.