

DOI: 10.5846/stxb201711071997

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): - .

Huang Z H, Zhou X, Zhang X R, Pu Z, Xing S H. Suitability assessments of potential distribution areas for Amur corktree in mainland China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): - .

## 我国大陆黄檗潜在分布区及分布适宜性评价

黄治昊, 周 鑫, 张孝然, 蒲 真, 邢韶华<sup>\*\*</sup>

北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083

**摘要:**黄檗为我国国家二级重点保护野生植物,多散生于阔叶林中,数量稀少,近年来,无论是从国家层面,还是地方政府层面都采取了一系列保护措施,人为破坏大大减少,然而其种群数量仍没有显著增加,拟从生态学的角度分析我国黄檗的潜在分布区,并进行了适宜性评价,为我国野生黄檗种群的就地保护和迁地保护提供技术支持。通过实地调查和文献资料整理,获得 69 个包括准确经纬度信息的分布点,同时在世界气候数据库(World-Clim)中下载中国大陆的 3 个地形变量(alt、slo、asp),5 个土壤变量(grav、pH、radi、rub、oc)和 19 个生物气候变量(bio1–bio19),利用多重共线性分析来检验环境因子之间的相关性,剔除出部分相关性高的环境因子,最终得到包括 6 个气候变量(bio1、bio3、bio4、bio12、bio15、prec1)、3 个地形变量(alt、asp、slo)及 5 个土壤变量(grav、pH、radi、rub、oc)的 14 个环境因子作为环境变量,进而应用最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(GIS)的空间分析功能,预测了黄檗在我国的潜在分布区,并评价分布区的适宜等级;分析了影响黄檗分布和适生性的关键因子及其适生区间。1) 黄檗潜在分布区主要集中在我国东北地区 and 京津冀大部分区域,以及河南北部、内蒙古东南部等区域,黄檗潜在分布区总面积为 117.51 万 km<sup>2</sup>,占全国总面积的 12.27%,其中高度适宜分布区面积为 189400 km<sup>2</sup>,占全国总面积的 1.97%,主要包括黑龙江中东部,吉林大部分区域,辽宁东南部和北京大部分区域。2) 温度季节性变化的标准差(35.7%)、年均降水量(28%)、坡度(6.5%)、年均温(6.7%)和有机碳含量(5.8%)是影响黄檗分布的 5 个最主要的环境因子,总的贡献率为 82.7%。温度季节性变化标准差在 14000—16000 范围内,年均降水量在 600—800 mm 范围内,坡度在 2°—8°范围内,年均温在 1—7℃范围内,土壤有机碳含量在 25—65 g/kg 范围内为黄檗适宜分布的环境因子区间。我国野生黄檗分布还远远没有达到其潜在的分布范围,山东、山西、河南、内蒙等目前资料显示分布并不广泛的省份也是进行野生黄檗迁地保护和人工种植的可选区域。对影响黄檗分布和适生性的关键因子进行分析后表明,温度季节性变化标准差越大其适生程度越高(14000—16000),说明黄檗对于温度的承受范围较大;年均降水量处于 700 mm 左右其适生程度最高,说明黄檗对于水分要求为中等水平;坡度为 2°—8°范围内野生黄檗的适生程度最高,说明黄檗多分布在缓坡地带,年均温在 4℃其适生程度最高;土壤有机碳含量在 50 g/kg 左右其适生程度最高。

**关键词:**黄檗;Maxent 模型;环境因素;潜在分布区;空间分析

## Suitability assessments of potential distribution areas for Amur corktree in mainland China

HUANG Zhihao, ZHOU Xin, ZHANG Xiaoran, PU Zhen, XING Shaohua<sup>\*</sup>

College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** Amur corktree (*Phellodendron amurense* Rupr.) is listed as a second-class protected species in national key protected plant lists. They are commonly scattered in broad-leaved forest in small populations. In recent years, a series of protective measures have been taken at the national or local government level, and man-made damage to the species has been greatly reduced. However, the population of Amur cork has not increased significantly from these measures. In this

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(项目编号 2015ZCQ-BH-02)

收稿日期:2017-11-07; 网络出版日期:2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: steelboy78@163.com

paper, potential distribution areas for Amur corktree in China were analyzed from an ecological point of view, and their suitabilities were evaluated to provide technical support for in situ and ex situ conservation of the wild Amur corktree population. According to the field investigation and literature review, which included accurate geographic information, we obtained 69 distribution points of Amur corktree. Simultaneously, three topographic variables (alt, slo, asp), five soil variables (grav, pH, radi, rub, oc), and 19 bioclimatic variables (bio1-bio19) were downloaded from the world climate database (world-clim). We tested the correlations between these environmental factors by multiple collinearity analysis, and some environmental factors with high correlations were excluded, The final results include six climatic variables (bio1, bio3, bio4, bio12, bio15, and prec1), three topographic variables (alt, ASP, SLO), and five soil variables (grav, pH, radi, rub, oc) for a total of 14 environmental factors as environmental variables, and we predicted the potential distribution areas of Amur corktree in China. A suitable grade for each area was determined by using the maximum entropy model (MaxEnt) and GIS; meanwhile, we analyzed the key factors that influence the distribution and growth of the Amur corktree, and the appropriate ranges of these factors.1) The potential suitable distribution areas of Amur corktree in China are mainly concentrated in the northeastern regions and most areas of Beijing, Tianjin, and Hebei, as well as in northern Henan, and southeastern Inner Mongolia. The total suitable distribution area for Amur corktree is 11.71 million km<sup>2</sup>, accounting for 12.27% of the total area of the country, and among this area, the highly suitable area was 189,400 km<sup>2</sup>, accounting for 1.97% of the total area of the country. These highly suitable areas were situated in the eastern part of Heilongjiang Province, most parts of Jilin Province, the southeastern part of Liaoning Province, and most areas of Beijing. 2) Standard deviation of seasonal variation in temperature (35.7%), annual precipitation (28%), slope (6.5%), mean annual temperature (6.7%), and organic carbon content (5.8%) were the five main environmental factors influencing the distribution of the Amur corktree, and the total rate of contribution was 82.7%. A seasonal variation in temperature standard deviation in the range of 14,000—16,000, an average annual rainfall in the range of 600 mm—800 mm, slope in the range of 2°—8°, average annual temperature in the range of 1—7 °C, and a soil organic carbon content in the range of 25—65 g/kg are the most suitable ranges for Amur corktree distribution. The distribution of wild Amur corktree in China is much less than its potential distribution. Shandong, Shanxi, and Henan Provinces and Inner Mongolia are available regions for Amur corktree distribution where they are not currently widely distributed. The analysis of the key factors influencing the distribution and growth of Amur corktree showed that the higher the standard deviation of seasonal variation in temperature (14000—16000), the higher the degree for Amur corktree growth; an average annual precipitation of 700 mm was the most suitable precipitation for Amur corktree growth, which suggested that Amur corktree has a moderate requirement for water; a slope of 2—8 ° was the most suitable, which showed that the Amur corktrees are usually distributed on a gentle slope; and an average annual temperature of 4 °C and soil organic carbon content of 50 g/kg were also the most suitable variables for Amur corktree growth.

**Key Words:** Amur corktree; Maxent model; environmental factors; potential distribution areas; special analysis

黄檗(*Phellodendron amurense* Rupr.)别名黄波楞、黄柏,是芸香科黄檗属落叶乔木,主产于我国东北和华北各省。由于20世纪80—90年代人类的严重破坏,野生黄檗资源急剧减少,1987年出版的《中国珍稀濒危保护植物名录》(第一册)将黄檗定为渐危种,1999年国家公布的《国家重点保护野生植物名录》(第一批)中将其列为Ⅱ级重点保护植物,2008年崔国发等人在对北京地区野生植物进行濒危等级评定中将其定为容易消失种<sup>[1]</sup>,因此开展黄檗的适宜分布区和潜在分布区研究为黄檗种群的野外保护与恢复提出科学建议显得十分必要。近年来,有关黄檗的研究多集中在药用成分分析、药用成分提取和药效学等方面<sup>[2-6]</sup>,人工栽培方面也有部分研究<sup>[7]</sup>,而针对黄檗适宜分布区和潜在分布区的研究较少。随着统计模型和GIS技术的兴起,基于地理信息系统(Geographic Information System, GIS)和生态学原理并结合多年的环境变量对物种的潜在分布

进行预测,在生态、进化、保护等科学领域已广泛应用<sup>[8-10]</sup>。目前最常用的预测物种潜在分布的生态位模型有 GARP (the genetic algorithm for rule-set prediction)、ENFA (ecological niche factor analysis)、Bioclim (the bioclimatic prediction system)、Domain (the domain model)、Maxent (the maximum entropy model),然而最大熵模型 Maxent 较其他四种预测的结果精确度更高<sup>[11]</sup>。最大熵模型可以根据物种当前存在的不完整数据信息和环境变量间紧密的关系,找出物种分布规律的最大熵,从而对物种的潜在分布进行预测。目前最大熵模型在动植物保护(尤其是濒危物种)、外来种入侵的调查研究中被广泛应用<sup>[12-15]</sup>。本文在前期黄檗实地调查和文献资料整理的基础上,应用 Maxent 模型和 GIS 技术相结合,对黄檗潜在分布进行了预测和适生等级划分,并进一步分析了影响黄檗分布的关键环境因子,旨在更好的促进野生黄檗种群的保护与恢复。

## 1 材料与方法

### 1.1 黄檗地理分布信息数据

黄檗地理分布信息数据主要来自于实地调查和文献资料整理,中国数字植物标本馆 (<http://www.cvh.org.cn>) 和中国自然保护区资源平台 (<http://www.papc.cn/bhqzy.aspx>) 等。初步收集到黄檗标本信息 130 个,标本点信息基本均匀覆盖黄檗的现有分布区。对具有精确经纬度的标本信息直接使用,对已知详细具体分布地点的信息,借助 GPS 确定其经纬度坐标,然后去除经纬度重复和信息缺失的数据,最终整理获得 69 个包括经纬度准确地理信息的分布点(图 1)。

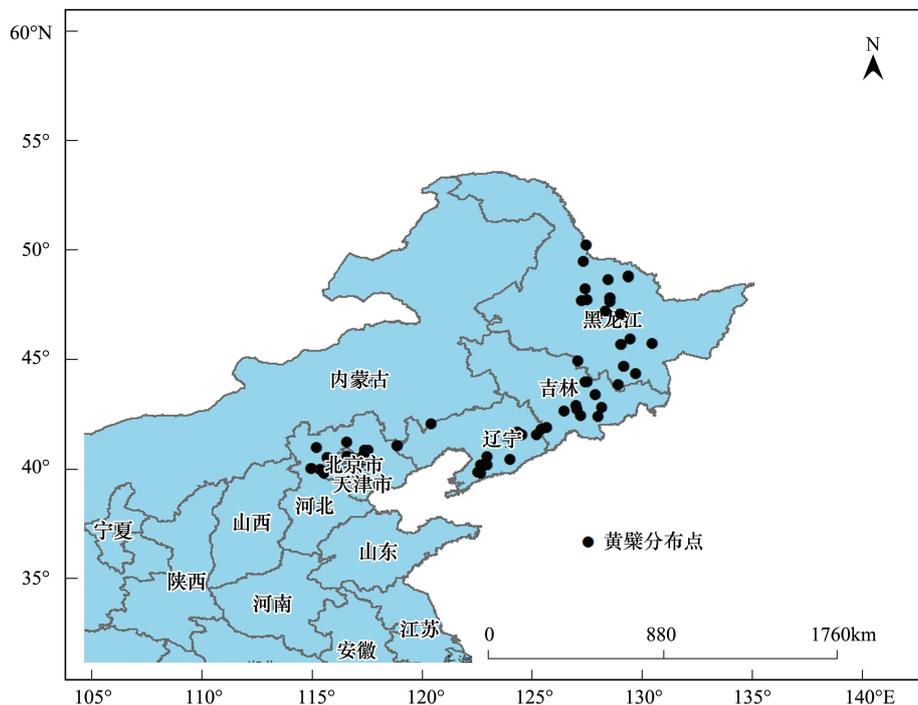


图 1 已知我国黄檗分布点

Fig.1 The known distribution point of *Phellodendron amurense* Rupr. in China

### 1.2 环境变量

环境变量包括生物气候变量、地形变量和土壤变量。基于 GIS 技术在世界气候数据库 (World-Clim) 中下载中国的 3 个地形变量为海拔 (alt)、坡度 (slo) 和坡向 (asp), 5 个土壤变量, 包括碎石百分比 (grav), pH 值 (pH), 含沙量 (radi), 粘土含量 (rub), 有机碳含量 (oc) 和 20 个气候变量, 包括年均温 (bio1)、昼夜温差日均值 (bio2)、等温性 (bio3)、温度季节性变化的标准差 (bio4)、最暖月最高温 (bio5)、最冷月最低温 (bio6)、年均温变化范围 (bio7)、最湿季度平均温度 (bio8)、最干季度平均温度 (bio9)、最暖季度平均温度 (bio10)、最冷季

度平均温度(bio11)、年均降水量(bio12)、最湿月降水量(bio13)、最干月降水量(bio14)、降水量变异系数(bio15)、最湿季度降水量(bio16)、最干季度降水量(bio17)、最暖季度降水量(bio18)、最冷季度降水量(bio19)、1月降水量(prec1)和7月降水量(prec7)。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 环境变量的格式转换及提取

利用 ArcGIS 的转换工具将世界气候数据库和世界土壤数据库提供的环境变量转换为 ESRI 的 ASCII 格式,并从国家基础地理信息系统下载获得的 1:400 万的中国地图作为分析底图,进行相对应的中国环境因素图层的提取。

#### 1.3.2 环境变量的相关性分析

由于环境变量之间有一定的相关性,参照 Yang 等的研究方法<sup>[16]</sup>,将获得的气候变量图层和不同属性的土壤图层进行多重共线性分析来检验图层之间的相关性,若两个气候变量间的相关性 $>\pm 0.8$ ,那么只能有一个变量选入模型,最终得到 14 个环境变量(表 1),包括 6 个气候变量(bio1、bio3、bio4、bio12、bio15、prec1)和 3 个地形变量(alt、asp、slo)及 5 个土壤变量,土壤变量包括碎石百分比(grav)、pH 值(pH)、含沙量(radi)、粘土含量(rub)、有机碳含量(oc)。

表 1 环境数据描述列表

Table 1 Environment data description list

编号 Number	描述 Description	编号 Number	描述 Description
bio1	年均温 Mean annual temperature	asp	坡向 Aspect
bio3	等温性 Isothermal property	slo	坡度 Slope
bio4	温度季节性变化的标准差 Standard deviation of seasonal variation of temperature	grav	碎石百分比 Gravel percentage
bio12	年均降水量 annual average precipitation	pH	pH 值 pH value
bio15	降水量变异系数 Variation coefficient of precipitation	radi	含沙量 Sediment concentration
prec1	1月降水量 The precipitation of January	rub	粘土含量 Clay content
alt	海拔 Altitude	oc	有机碳含量 Organic carbon content

#### 1.3.3 Maxent 模型预测及适生等级划分

按 Maxent 模型要求,将黄槿分布数据保存为“物种+ 经度+ 纬度”的 csv 格式,将黄槿标本信息数据和上述经过相关性分析的环境变量导入 Maxent 3.3.3,定义结果输出的位置以及环境因子图层位置。参照 Roberto Moreno 等<sup>[17]</sup>的研究方法,采取测试集为分布点的 25%,训练集为分布点的 75%。其余选项采用模型的默认设定,重复运行 100 次进行建模,ROC 曲线(受试者工作特征曲线)来评价模型预测结果的精准度,Jackknife 刀切图来评价各环境因子的权重。

在 ArcGIS 软件中加载 MaxEnt 的运算结果,模型输出格式为 ASCII 栅格图层,导入 ArcGIS 中与中国地图叠加,抽取黄槿在中国的潜在适宜分布图,将生成的栅格数据文件进行重分类,结合前期资源调查和标本信息分析,按照适生指数 P 值将黄槿适宜性综合评价等级分为: $P < 0.05$  为不适宜区; $0.05 \leq P < 0.25$  低度适宜区; $0.25 \leq P < 0.5$  为中度适宜区; $P \geq 0.5$  为高度适宜区<sup>[13-14,18]</sup>,从而得出黄槿在我国的适宜分布区结果(图 2)。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄槿在我国的潜在分布区及其适生等级划分

黄槿在我国的适宜分布区面积(包括高度适宜区、中度适宜区和低度适宜区)总计为 117.51 万  $\text{km}^2$ ,占我国大陆总面积的 12.27%,其中低度适宜区面积为 689100  $\text{km}^2$ ,中度适宜区面积为 296600  $\text{km}^2$ ,高度适宜区面

积 189400 km<sup>2</sup>。黄檗适宜性潜在分布区与黄檗实地样点及标本信息分布区(图 1)高度一致,黄檗在我国的潜在适宜区主要集中东北地区和京津冀大部分区域,大兴安岭部分区域和小兴安岭大部分区域以及河南北部、内蒙东南部和东北部等区域。其中,高度适宜区( $P \geq 0.5$ )主要分布在黑龙江省中东部,吉林省大部分区域,辽宁省东南部和北京市大部分区域。

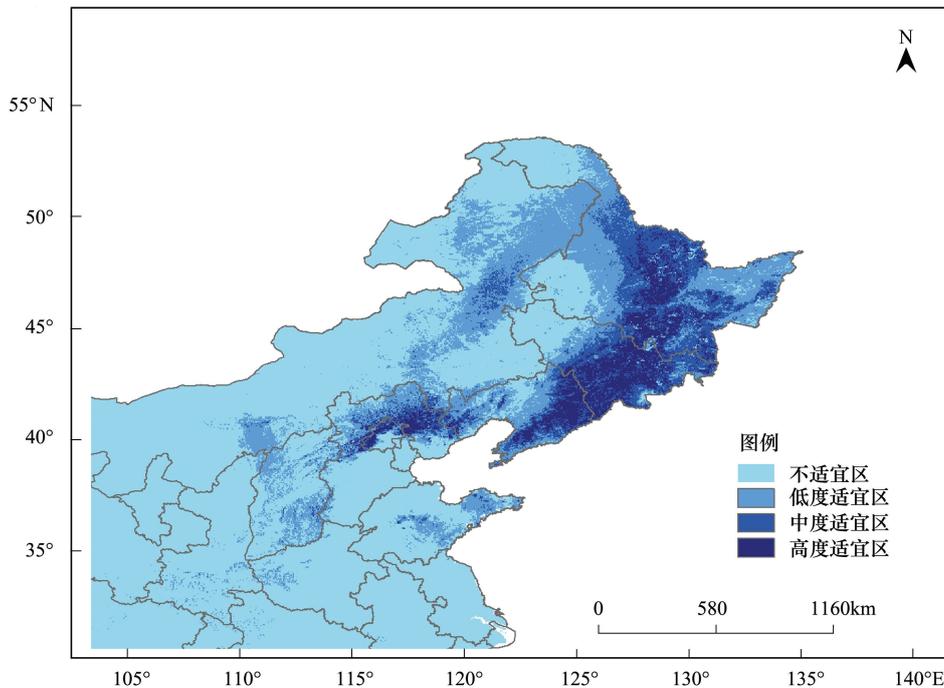


图 2 我国黄檗的适宜分布区

Fig.2 The suitable distribution area of *Phellodendron amurense* Rupr. in China

## 2.2 预测精度分析

应用 ROC 曲线分析法对 Maxent 软件预测的黄檗适宜区分布结果进行精度检验,得到 AUC 值(即 ROC 曲线下方的面积),它是模型预测能力的准确性指标。AUC 值取值范围为 0.5—1,越接近 1 说明预测的结果越好,其模型预测的结果就越准确<sup>[19]</sup>。AUC 值为 0.50—0.60(失败),0.60—0.70(较差),0.70—0.80(一般),0.80—0.90(好),0.90—1.0(非常好)。按上述方法建立最大熵模型重复运行 100 次后,得到的平均训练集 AUC 值为 0.962(图 3),表明 Maxent 模型对黄檗潜在分布区的预测效果非常好。

## 2.3 主导环境因子的确定

根据 Jackknife 刀切图(图 4)可以看出影响黄檗分布的主要环境因子为温度季节性变化标准差,年均降水量,坡度,年均温和土壤有机碳含量;根据各个环境因子对黄檗分布影响的贡献率表(表 2)显示,这 5 个环境因子对模拟结果的贡献率大于或接近于 6%,由高到低依次为温度季节性变化的标准差(35.7%)、年均降水量(28%)、坡度(6.5%)、年均温(6.7%)和有机碳含量(5.8%),累积贡献率高达 82.7%。

选取温度季节性变化的标准差、年均降水量、坡度、年均温和土壤有机碳含量分别建立 Maxent 模型,得出

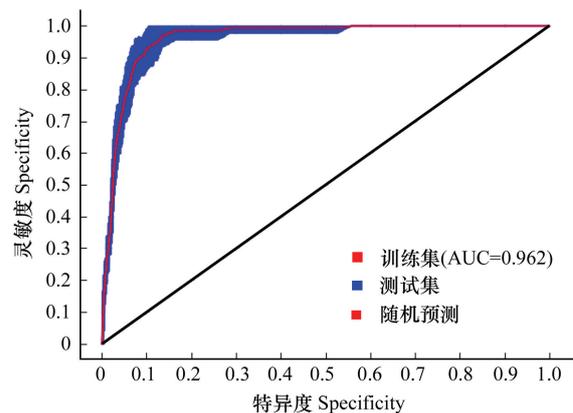


图 3 ROC 曲线(受试者工作特征曲线)与 AUC 值(ROC 曲线下方的面积大小)

Fig.3 ROC curve (receiver operating characteristic curve) and AUC value (Area Under ROC Curve)

黄檗在各个环境因子中的适宜区间(图5—图9)。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 Maxent 预测的可靠性和黄檗的潜在分布区

预测结果显示,黄檗在我国的潜在适宜区主要集中在东北地区 and 京津冀大部分区域,大兴安岭部分区域和小兴安岭大部分区域以及河南北部、内蒙东南部和东北部等区域。对黄檗的潜在分布区进行分级预测后显示,高度适宜区 ( $P \geq 0.5$ ) 主要分布在黑龙江省中东部,吉林、辽宁省和北京市大部分区域。利用 ROC 曲线分析法对 Maxent 软件预测的黄檗适宜区分布结果进行精度检验,得到的 AUC 值为 0.962,同时各适生等级的划分也基本符合野生黄檗目前在我国的分布现状,表明 Maxent 模型对黄檗在我国潜在分布区的预测效果非常好,本研究结果具有较高的可信度与参考价值。

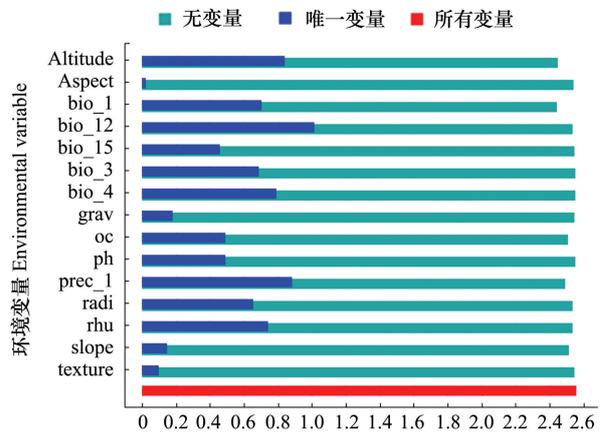


图4 黄檗分布预测结果刀切图

Fig.4 Jackknife result of prediction process of *Phellodendron amurense* Rupr.

环境变量的缩写,请参看表1

表2 各个环境因子对黄檗分布影响的贡献率

Table 2 The contribution rate of Each Environmental factors to *Phellodendron amurense* Rupr. Distribution

变量 Environmental factors	贡献率/% Contribution rate	变量 Environmental factors	贡献率/% Contribution rate
年均温 Mean annual temperature	6.70	坡向 Aspect	0.60
等温性 Isothermal property	0.30	坡度 Slope	6.50
温度季节性变化的标准差 Standard deviation of seasonal variation of temperature	35.70	碎石百分比 Gravel percentage	1.10
年均降水量 annual average precipitation	28	pH 值 pH value	0.20
降水量变异系数 Variation coefficient of precipitation	5.50	含沙量 Sediment concentration	0.50
1月降水量 The precipitation of January	4.60	粘土含量 Clay content	0.80
海拔 Altitude	3.40	有机碳含量 Organic carbon content	5.80

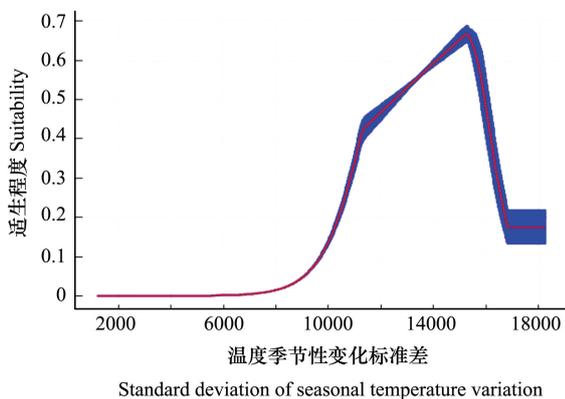


图5 温度季节性变化标准差适宜区间

Fig.5 The Suitable interval of the standard deviation of Seasonal temperature variation

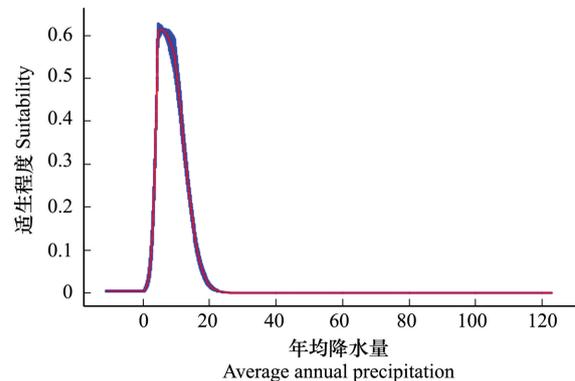


图6 年均降水量适宜区间

Fig.6 The Suitable interval of Average annual precipitation

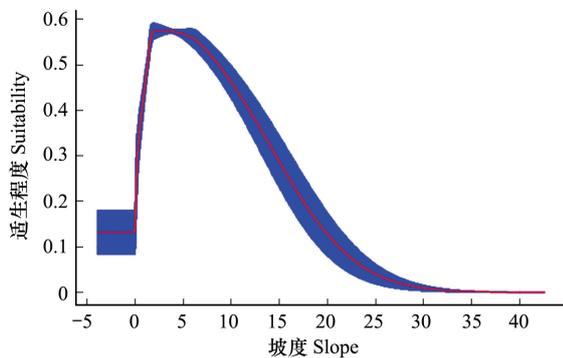


图 7 坡度适宜区间

Fig.7 The Suitable interval of The slope

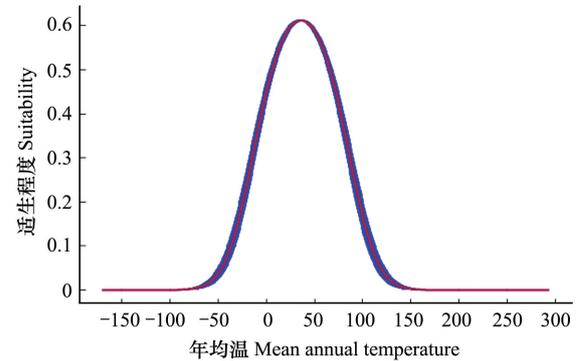


图 8 年均温适宜区间

Fig.8 The Suitable interval of Mean annual temperature

黄檗在我国的适宜区总面积达到 1175100 km<sup>2</sup>,除了已知的东北地区、京津冀地区以外,山东、山西、河南、内蒙等目前资料显示分布并不广泛的省份也存在黄檗的潜在适宜分布区,由此可以看出,我国的野生黄檗分布还远远没有达到其潜在的分布范围,这些区域也是进行野生黄檗的迁地保护和人工种植可选区域。

### 3.2 影响黄檗分布和适生性的关键因子

对主导环境因子进行分析后得出温度季节性变化的标准差、年均降水量、坡度、年均温和土壤有机碳含量对黄檗潜在分布预测的累积贡献率超过 80%,说明这 5 个环境因子是影响黄檗分布和适生性的关键因子。

对这 5 个环境因子分别建立 Maxent 模型,得出黄

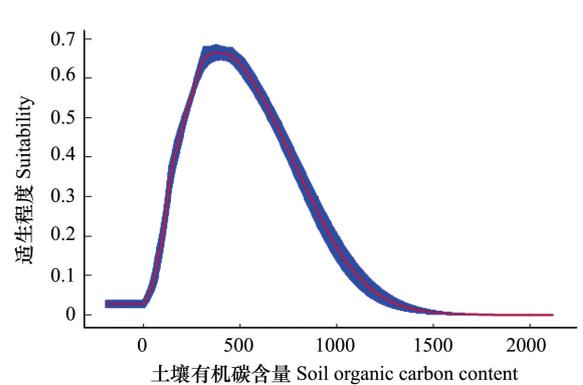


图 9 土壤有机碳含量适宜区间

Fig.9 The Suitable interval of The soil organic carbon content

檗在各个环境因子中的适宜区间(图 5—图 9),适生程度大于 0.5 表明该区间为黄檗的适生区间,对影响黄檗分布和适生性的关键因子进行分析后得出的结论表明,温度季节性变化标准差越大其适生程度越高,其中温度季节性变化标准差在 14000—16000 的区间内黄檗的适生程度最高,说明黄檗对于温度的承受范围较大,陈雄文等<sup>[20]</sup>在中国东北样带森林区域中主要树种的空间分布特征研究中得出黄檗抗寒能力较强,这与本文结论一致;年均降水量 600—800mm 为其适宜区间,其中年均降水量在 700 mm 左右其适生程度最高,与陈雄文等<sup>[20]</sup>对中国东北样带森林区域中主要树种空间分布特征中黄檗对于水分要求为中等水平的结论一致;坡度范围在 2°—8°为黄檗适宜区间,黄治昊等<sup>[21]</sup>在北京地区研究黄檗分布与环境因子的关系中得到,黄檗生长分布状况与土壤水分储蓄有关,缓坡有利于土壤水分的储蓄,北京地区野生黄檗在缓坡分布状况最好,这与本文的研究结果一致;年均温 -10—15℃为黄檗的适宜区间,其中 4℃左右其适生程度最高,这与黄檗原产区和主产区的气候特点相符;土壤有机碳含量 25—65 g/kg 均为黄檗分布的适宜区间,土壤有机碳含量在 50 g/kg 左右其适生程度最高。因此可利用上述预测结果,开展野生黄檗的就地保护和迁地保护,野生抚育和人工种植等工程和措施,以促进黄檗种群的保护与恢复。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 李静贤. 北京山区野生黄檗数量特征研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [ 2 ] 张玉红, 刘彤, 周志强. 黑龙江黄檗皮中药用活性成分含量差异及聚类分析. 经济林研究, 2012, 30(3): 51-54.
- [ 3 ] 秦彦杰. 黄檗主要药用成分的分布规律研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
- [ 4 ] 祖元刚, 王延兵, 王慧梅, 孙莲慧. 黄檗(*Phellodendron amuranse*)叶片总 RNA 提取方法研究. 植物研究, 2007, 27(5): 593-595.

- [ 5 ] 高杨, 刘铭, 张洪文. 珍稀植物黄檗的药用价值及可持续利用. 中国保健营养, 2012, 22(3): 22-24.
- [ 6 ] Lis A, Boczek E, Góra J. Chemical composition of the essential oils from fruits, leaves and flowers of the Amur cork tree (*Phellodendron amurense* Rupr.). Flavour and Fragrance Journal, 2004, 19(6): 549-553.
- [ 7 ] 刘琰璐, 戴灵超, 张昭. 黄檗繁殖技术研究进展. 中央民族大学学报: 自然科学版, 2011, 20(2): 84-87.
- [ 8 ] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 2000, 135(2/3): 147-186.
- [ 9 ] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. Nature, 2002, 416(6879): 389-395.
- [ 10 ] Brito J C, Acosta A L, Álvares F, Cuzin F. Biogeography and conservation of taxa from remote regions: an application of ecological-niche based models and GIS to North-African Canids. Biological Conservation, 2009, 142(12): 3020-3029.
- [ 11 ] 郝朝运, 谭乐和, 范睿, 陈海平, 邬华松, 李志刚, 吴刚. 利用最大熵模型预测药用植物海南茜的潜在地理布局. 热带作物学报, 2011, 32(8): 1561-1566.
- [ 12 ] 王娟娟, 曹博, 白成科, 张琳琳, 车乐. 基于 Maxent 和 ArcGIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价. 植物研究, 2014, 34(5): 642-649.
- [ 13 ] 房锋, 张朝贤, 黄红娟, 李燕, 陈景超, 杨龙, 魏守辉. 基于 MaxEnt 的麦田恶性杂草节节麦的潜在分布区预测. 草业学报, 2013, 22(2): 62-70.
- [ 14 ] 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. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 137-141.
- [ 15 ] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [ 16 ] Yang X Q, Kushwaha S P S, Saran S, Xu J C, Roy P S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. Ecological Engineering, 2013, 51: 83-87.
- [ 17 ] Moreno R, Zamora R, Molina J R, Vasquez A, Herrera M Á. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forests using Maximum entropy (Maxent). Ecological Informatics, 2011, 6(6): 364-370.
- [ 18 ] 车乐, 曹博, 白成科, 王娟娟, 张琳琳. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 对太白米的潜在分布预测及适宜性评价. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1623-1628.
- [ 19 ] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. Nature, 2002, 416(6879): 389-395.
- [ 20 ] 陈雄文, 张新时, 周广胜, 陈锦正. 中国东北样带(NECT)森林区域中主要树种空间分布特征. 林业科学, 2000, 36(6): 35-38.
- [ 21 ] 黄治昊, 周鑫, 张孝然, 蒲真, 邢韶华. 北京地区黄檗分布与环境因子的关系. 植物科学学报, 2017, 35(1): 56-63.