

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2017.03.036

# 前胡和紫花前胡在中国的潜在分布区预测

张琳, 邓亦麒, 谢登峰, 何兴金

(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 610064)

**摘要:** 采用最大熵(MaxEnt)生态位模型, 结合前胡和紫花前胡大量已有的地理分布数据, 基于20个环境变量对其在中国的潜在分布区进行了预测. 结果表明: 最冷季度平均温度, 最冷月最低温和最干季度平均温度为前胡分布限制性因子. 而对紫花前胡影响最大的环境因子为最干月降水量, 最冷季度平均温度和昼夜温差月均值. 预测结果显示, 前胡和紫花前胡的潜在分布区比现实分布区更广泛, 其中中国秦岭地区、浙江省、湖南省等部分山区为其最佳适生区(适生指数 $>0.71$ ). 在台湾、甘肃和西藏等地区分布的差异能为在地域上分辨两者提供理论依据. 随着野生资源减少和中药材前胡和紫花前胡需求量的增加, 在该地区进行栽培是增加产量, 保护野生资源多样性的可行途径.

**关键词:** 前胡; 紫花前胡; 分布区预测; MaxEnt; 药用植物

**中图分类号:** Q948.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0490-6756(2017)03-0641-07

## Prediction of potential distributions of *Peucedanum praeruptorum* and *Angelica decursiva* in China

ZHANG Lin, DENG Yi-Qi, XIE Deng-Feng, HE Xing-Jin

(Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** This study applied MaxEnt (Maximum Entropy) ecological niche modeling to predict the potential range of Qianhu and Zihuaqianhu in China on the basis of occurrence points. The results indicated that: environmental factors such as Mean temperature of the coldest quarter, Monthly mean diurnal temperature range, Min temperature of the coldest month, Precipitation of the driest month, and Precipitation of the driest quarter are greatly influenced the size of Qianhu's and Zihuaqianhu's potential range. Potential distribution areas of two plants are more widely than the realistic distribution areas. Some mountain areas of Qinling Mountains, Nanling and Zhejiang province are the most suitable area (adaptive index  $>0.71$ ). The difference of distribution in Taiwan, Gansu, Xizang province can provide the basis for the discrimination. With the wild resource reducing and demands increasing, cultivation of plant in the most suitable area is feasible way to increase output of production and protection of wild resources diversity of Chinese medicinal materials.

**Keywords:** *Angelica decursiva*; *Peucedanum praeruptorum*; Potential Distribution Prediction; Max-Ent; Medicinal plants

收稿日期: 2016-01-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31470009, 31270241, 31570198); 国家标本平台教学标本子平台资助(<http://mnh.scu.edu.cn/>)

作者简介: 张琳(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物分类和系统进化生物学研究. E-mail: LynnZ15@163.com

通讯作者: 何兴金. E-mail: xjhe@scu.edu.cn

## 1 引言

前胡,始载于陶弘景《名医别录》<sup>[1]</sup>,其入药已有一千八百多年历史.为伞形科前胡属植物前胡(*Peucedanum praeruptorum* Dunn)的干燥根.具有降气化痰、散风清热的功效,临床上用于痰热喘满、咯痰黄稠、风热咳嗽痰多等症<sup>[2]</sup>.前胡主要含香豆素类化合物和挥发油,香豆素类化合物为主要药用有效成分<sup>[3,4]</sup>.现代药理研究表明,前胡提取物能有效降低肺动脉压、抗心力衰竭、抗心脑血管缺氧以及祛痰平喘和抗癌<sup>[3,5,6]</sup>的作用.伞形科当归属植物紫花前胡(*Angelica decursiva* (Miq.) Franch. Et Sav.),以“历阳当归”下“草当归”始载于《本草经集注》,以“滁州当归”和“成州前胡”载于《本草图经》,长期以来作为当归和前胡入药<sup>[7,8]</sup>.但 2010 版《中国药典》将紫花前胡单独列举及入药<sup>[2]</sup>.现代研究证明紫花前胡主要含有香豆素类化合物和挥发油等生物活性物质<sup>[4,9,10]</sup>.紫花前胡根的醇提物具有祛痰解痉、抗血小板聚集、抗炎和镇痛作用<sup>[11,12]</sup>.刘元等在白花前胡丙素和紫花前胡苷对小鼠的祛痰作用研究中发现,紫花前胡苷能增强气管排泌酚红以祛痰<sup>[5]</sup>.另外 Cho 等发现紫花前胡的醇提物能通过激活凋亡蛋白酶(caspases),抑制 Saos2 人类骨肉瘤细胞增殖和诱导其凋亡,在抗癌方面有巨大的潜力<sup>[13]</sup>.Kim 等研究证明紫花前胡苷具有改善学习记忆障碍的功能,其与升高胆碱能神经系统作用有关,提示紫花前胡苷有望发展成为新的健忘症预防和治疗药物<sup>[14]</sup>.

前胡和紫花前胡入药主要靠野生资源,而随着医疗卫生事业迅速发展,全国前胡购销均呈逐年上升趋势,尤其 70 年代后,年购、销量上升幅度较大,突破 100 万公斤大关<sup>[8]</sup>.长期以来,前胡和紫花前胡资源开发利用很不平衡.开发较早、人口稠密的丘陵地区,资源蕴藏量大幅度下降;而人烟稀少的部分高山地区资源又处于自生自灭的状态<sup>[15]</sup>.为供应市场所需,多采用仿野生栽培<sup>[16]</sup>.如熊永兴等学者通过走访调查,发现前胡主要栽培于安徽、浙江、湖北、重庆和贵州等地<sup>[15]</sup>.笔者通过 2013 至 2015 年野外采样和调查,发现紫花前胡在国内栽培范围较大,分布于陕西、四川、重庆以及贵州等地区的紫花前胡均为栽培.然而部分栽培用地的选择不合适,如部分栽培植株生长状况不佳,出现病虫害现象.因此,对其植物的生长适宜性分布进行分析与评价,对了解中药材资源的整体概况、规划

野生资源采集和在适生区有规划的推广人工栽培具有十分重要的意义.

常用的物种分布预测软件有 Maximum Entropy (MaxEnt)、DOMAIN<sup>[17]</sup>、FloraMap、BioMapper、Genetic Algorithm for Ruleset Production (GRAP)、Climax 等,其中 MaxEnt 和 GRAP 更适合于通过部分分布信息预测物种的适生区分布<sup>[18]</sup>;而与 GRAP 相比,MaxEnt 的运算结果更稳定(AUC 值变化平缓),预测与实际分布的一致性较高(平均 AUC 值最大),在样点数据以及环境因子参数较多的情况下更有优势<sup>[19,20]</sup>.近年来,MaxEnt 已在入侵性植物分布区、检疫病虫害和保护动植物潜在分布区预测等方面广泛应用<sup>[21-23]</sup>,并取得可靠的预测结果.研究采用 MaxEnt 生态位模型联合 DIVA-GIS 7.5 软件<sup>[24]</sup>,基于 20 个环境因子进行建模,分别对前胡和紫花前胡进行基于生态因子的潜在适生区分布分析,为中药材的种质资源研究、栽培生产用地的合理布局以及从分布区上对前胡和紫花前胡进行区分和正确使用提供一定的理论依据.

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

2.1.1 分布数据的获取与处理 根据药用植物前胡和紫花前胡的分布,利用中国数字植物标本馆(CVH, <http://www.cvh.org.cn/cms/>)、教学标本标准化整理整合与资源共享平台(<http://mnh.scu.edu.cn/>)、全球生物多样性信息平台(GBIF, <http://www.gbif.org/>)以及实际野外采集,共得到两者的分布点信息 1986 条,去除重复及国外分布点数据后得到中国具有经纬度的分布点信息前胡 226 条,紫花前胡 177 条(其中 55 个为实际采样获得).

2.1.2 相关地理信息数据及环境变量 研究所使用的矢量地图分别来源于国家基础地理信息系统网站(<http://nfgis.nsd.gov.cn/>)和 DIVA-GIS 网站(<http://www.diva-gis.org/>)下载的全球行政区划图和中国行政区划图,分辨率为 1:400 万.气候环境图层数据来源于世界气候数据库(<http://www.worldclim.org/>),精度为 2.5 弧分(约 5km),包括海拔变量(alt)和 19 个生物气候变量(bio01-bio19),各项因子及含义详见表 1.

### 2.2 研究方法

2.2.1 数据导入及格式转换 前胡和紫花前胡的分布数据以“物种+经度+纬度”的形式输入 EX-

CEL 中, 并保存为逗号分隔(\*.csv)格式。根据我国的地理区域范围对调取的 Worldclim 气候数据

进行格式转换、影像的配准、裁剪和叠加。

表 1 本文所用的环境变量和贡献百分比

Tab. 1 Environmental variables used in the study

变量代码 Variable Code	描述 Description	贡献百分比 (%)	
		前胡	紫花前胡
alt	海拔 Altitude	6.8	4.9
bio 01	年均温 Annual mean temperature	3.9	0.1
bio 02	昼夜温差月均值 Monthly mean diurnal temperature range	8.1	23.5
bio 03	等温性 Isothermality [(Bio2/Bio7)×100]	0.1	8.1
bio 04	温度季节性变化的标准差 Standard deviation of temperature seasonal change	18	3.3
bio 05	最暖月最高温 Max temperature of the warmest month	0.6	1.2
bio 06	最冷月最低温 Min temperature of the coldest month	8.3	1.1
bio 07	年均温变化范围 Range of annual temperature	0.9	0.3
bio 08	最湿季度平均温度 Mean temperature of the wettest quarter	1.6	0.6
bio 09	最干季度平均温度 Mean temperature of the driest quarter	5.8	0.1
bio 10	最暖季度平均温度 Mean temperature of the warmest quarter	0	0
bio 11	最冷季度平均温度 Mean temperature of the coldest quarter	16.3	5.8
bio 12	年均降水量 Annual average precipitation	10.7	0
bio 13	最湿月降水量 Precipitation of the wettest month	0.1	0.3
bio 14	最干月降水量 Precipitation of the driest month	0.7	23.8
bio 15	降水量变异系数 CV of precipitation	9.6	10
bio 16	最湿季度降水量 Precipitation of the wettest quarter	0	0.4
bio 17	最干季度降水量 Precipitation of the driest quarter	0.1	0.2
bio18	最暖季度降水量 Precipitation of the warmest quarter	7.8	14.5
bio 19	最冷季度降水量 Precipitation of the coldest quarter	0.8	1.7

2.2.2 环境变量权重分析 分析评价影响前胡和紫花前胡适生区分布的主要环境因子, 即通过一系列的刀切法(jackknife)分析确定每个环境因子的贡献率及训练得分。用所有的环境因子建立模型(黑色条带表示); 单独用每一环境因子建立模型(深灰色条带表示); 依次排除一个因子, 用剩余的因子建立模型(浅灰色条带表示), 观察这个模型(浅灰色条带)与所有因子都存在模型(黑色条带)之间的变化, 如果变化大, 说明排除的那个因子含有很重要的信息, 反之则有用信息少<sup>[25]</sup>。

2.2.3 环境变量的筛选 利用 MaxEnt 模型将 20 个生态因子数据依次计算 3 次, 每次舍去贡献率为 0 的生态因子, 最终联系刀切法选择出贡献率在 5% 以上的环境因子作为最终环境变量组进行植物生境适宜性预测。

2.2.4 MaxEnt 模型预测 在网站(http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/)上注册后可免费下载 MaxEnt 软件。参照 Roberto 等<sup>[17]</sup>研究的参数选择, 将 25% 的分布数据作为测试数据集(Test data), 其余作为训练数据集(Training data), 以 19 项生物气候指标(bio1-bio19)及海拔为环境因子, 采用 MaxEnt 模型软件进行建模, 并制作受试者工作特征曲线(ROC 曲线: Receiver

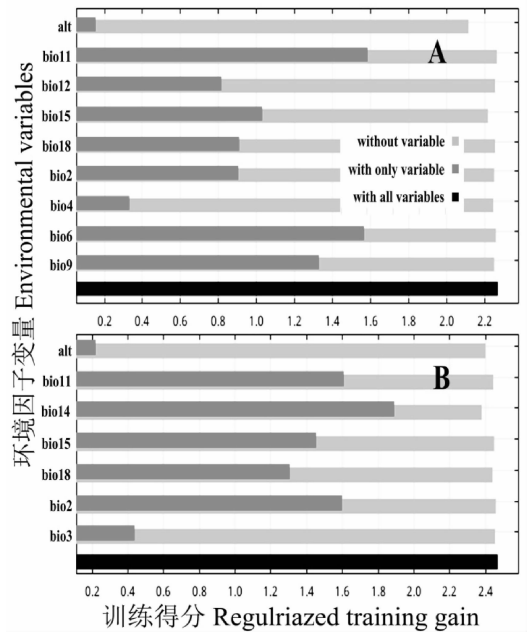


图 1 筛选后环境变量对前胡(A)和紫花前胡(B)预测结果的影响

Fig. 1 Effect of selected environmental variables on prediction result of *Peucedanum praeruptorum* (A) and *Angelica decursiva* (B)

Operating Characteristic Curve)对模型的有效性进行评价。根据 Phillips 等<sup>[21]</sup>的研究, 由于软件的运算结果会受到抽取的分布数据集的影响, 随机运

算 10 次取平均值用于评价模型的有效性。

2.2.5 模型预测结果评价 一般将 ROC 曲线下面积即 AUC 值的大小作为模型预测准确度的衡量指标,其取值范围为[0, 1],值越大表示模型判断力越

强, AUC 值在 0.5~0.7 时,表明模型预测价值较低,在 0.7~0.9 时模型预测价值中等,当大于 0.9 时则预测价较高,可以准确的反应物种的潜在分布<sup>[26]</sup>. 研究分别对前胡和紫花前胡的预测结果进行评价。

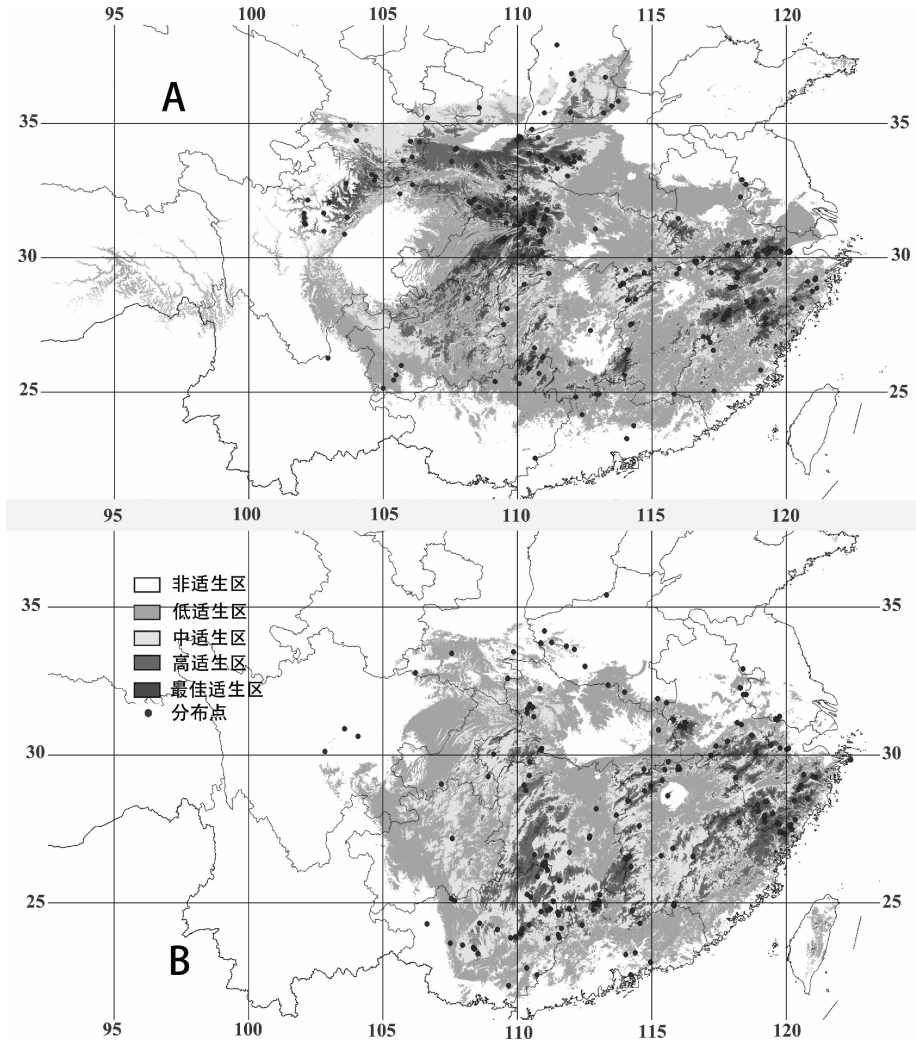


图 2 MaxEnt 模型预测前胡(A)和紫花前胡(B)在我国的适生区分布图

Fig. 2 Potential range prediction for *Peucedanum praeruptorum* (A) and *Angelica decursiva* (B) applied MaxEnt ecological niche model

### 3 结果与分析

#### 3.1 影响药用前胡植物分布的环境变量分析

3.1.1 环境变量选择 利用刀切法可以得出不同环境因子在影响前胡和紫花前胡分布中所占的比重. 利用 MaxEnt 模型将 20 个生态因子数据依次计算 3 次,结合贡献率大小和生态因子权重分析结果,选出海拔(alt)、昼夜温差月均值(bio2)、温度季节性变化的标准差(bio4)、最冷月最低温(bio6)、最干季度平均温度(bio9)、最冷季度平均温度(bio11)、年均降水量(bio12)、降水量变异系数(bio15)和最暖季度降水量(bio18)九个环境因子

进行前胡分布适宜性预测分析;选择出海拔(alt)、昼夜温差月均值(bio2)、等温性(bio3)、最冷季度平均温度(bio11)、最干月降水量(bio14)、降水量变异系数(bio15)和最暖季度降水量(bio18)七个环境因子进行紫花前胡分布适宜性预测分析(生态因子对植物分布的影响详见图 1)。

3.1.2 环境变量适宜性分析 由图 1 中预测得到的规范训练结果,可以得出海拔(alt)对两者模型的形成贡献相对较小. 而对前胡测试得分最高的前 3 项则为最冷季度平均温度(bio11),最冷月最低温(bio6)和最干季度平均温度(bio9). 而对紫花前胡测试得分最高的前 3 项依次为最干月降水量

(bio14),最冷季度平均温度(bio11)和昼夜温差月均值(bio2).认为这5项因子为影响前胡和紫花前

胡分布的主要生态因子.各环境因子对两者分布概率的反应曲线见图4.

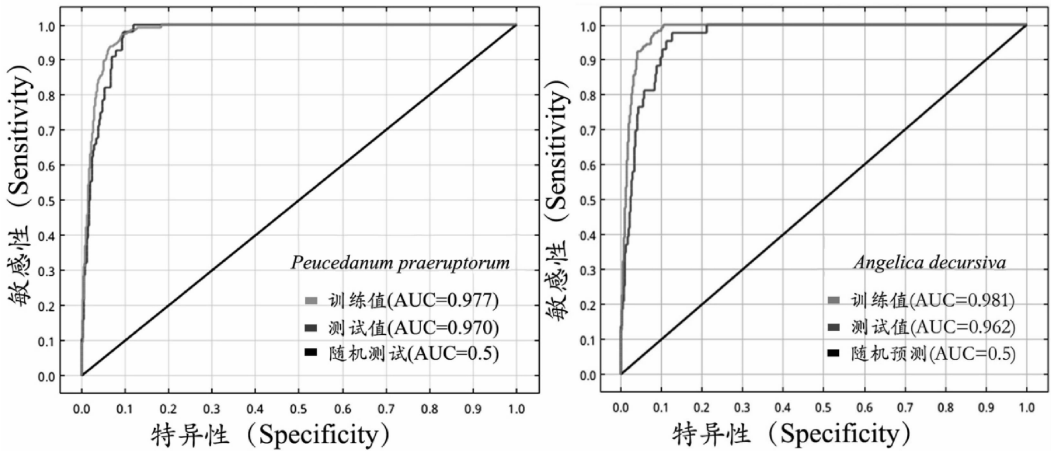


图3 MaxEnt模型应用ROC分析法检验预测结果

Fig. 3 Prediction validation with ROC curve in MaxEnt modeling

### 3.2 前胡和紫花前胡在中国的潜在适生区等级划分

借助MaxEnt模型的预测方法进行预测,将预测图划分为5个等级,非适生区(0.00~0.17),低适生区(0.17~0.35),中适生区(0.35~0.52),高适生区(0.52~0.71)和最佳适生区(0.71~1.00).从图2可以看出前胡最佳适生区分布在秦岭及其南部山区(陕西南部、河南西部和湖北西部,以及湖南、安徽、江西、福建和浙江小部分山区).紫花前胡最佳适生区分布在湘赣交界和浙江省及附近部分山区(主要包括湖南、江西、福建和安徽省边缘山区以及浙江地区).在此分布区周围为高适生区,其余则为中低适生区.在最佳适生区和高适生区设置栽培生产用地较为合适.

### 3.3 预测结果评价

将整理的前胡和紫花前胡的标本信息数据和分布点环境数据分别导入MaxEnt,运行后的受试者工作特征曲线(ROC曲线)结果显示,两者的训练值和测试值的AUC值均大于0.9(图3),表明该MaxEnt模型的诊断价值较高,预测的结果非常准确.

## 4 讨论

最大熵理论自1957年由Jaynes提出可应用于概率密度评估,在生态学中表达为一个物种在没有约束的情况下,会尽可能扩散蔓延并接近均匀分布.Phillips等基于生态位原理开发出最大熵模型软件(MaxEnt),是根据物种现实分布点地理坐标和物种分布地区的环境变量运算得出预测模型,用于预测物种的潜在适生区分布,具有较高的预测精度<sup>[20,27]</sup>.本研究设定模型时选择25%为测试集数

据,75%为训练集数据,测试集数据和训练集数据的ROC曲线显示:AUC值依次为0.970和0.977(前胡)以及0.962和0.981(紫花前胡).AUC值均接近于1,表明预测结果较好,可以准确地预测前胡和紫花前胡在我国的潜在适生分布区.最大熵模型计算出前胡和紫花前胡的适宜分布区,结果显示前胡的最佳适生区(概率大于0.71)为秦岭东南部地区、浙江及周围山区;紫花前胡的最佳适生区(概率大于0.71)在广西-湖南交界、浙江省及附近部分山区(如图2).两者的最佳适生区并不一致.古书也有记载“前胡产江浙一带为正品,紫花前胡产湘赣一带效用最佳”<sup>[1]</sup>与本实验结果相吻合.刘宇婧对前胡和紫花前胡的生药学分析,表明湖南的紫花前胡样品所含药用有效物质(香豆素和紫花前胡素等)在所有供试品中含量最多,河南和浙江的前胡样品所含药用有效物质含量最高<sup>[9]</sup>,支持本文对前胡和紫花前胡关于最佳适生区的预测.

在整体分布上,相比于前胡的广泛适宜分布,紫花前胡在秦岭以北分布较少,山西省和甘肃省内完全没有分布,陕西省也只是轻微适宜程度.在南方,紫花前胡能扩张到广西中部、西南部以及台湾岛,然而前胡则不能.因此,除了形态和分子数据外,也能在地域分布上区别紫花前胡和前胡.如图2所示,包括栽培分布在内,理论上紫花前胡和前胡能在中国中部和东南部大部分省市存在,然而笔者对紫花前胡分布的实地考察结果显示,该预测结果分布比实际更加广泛,这与近年来环境破坏和药材采集的不规范导致的分布不平衡<sup>[15]</sup>有深切的相关性.

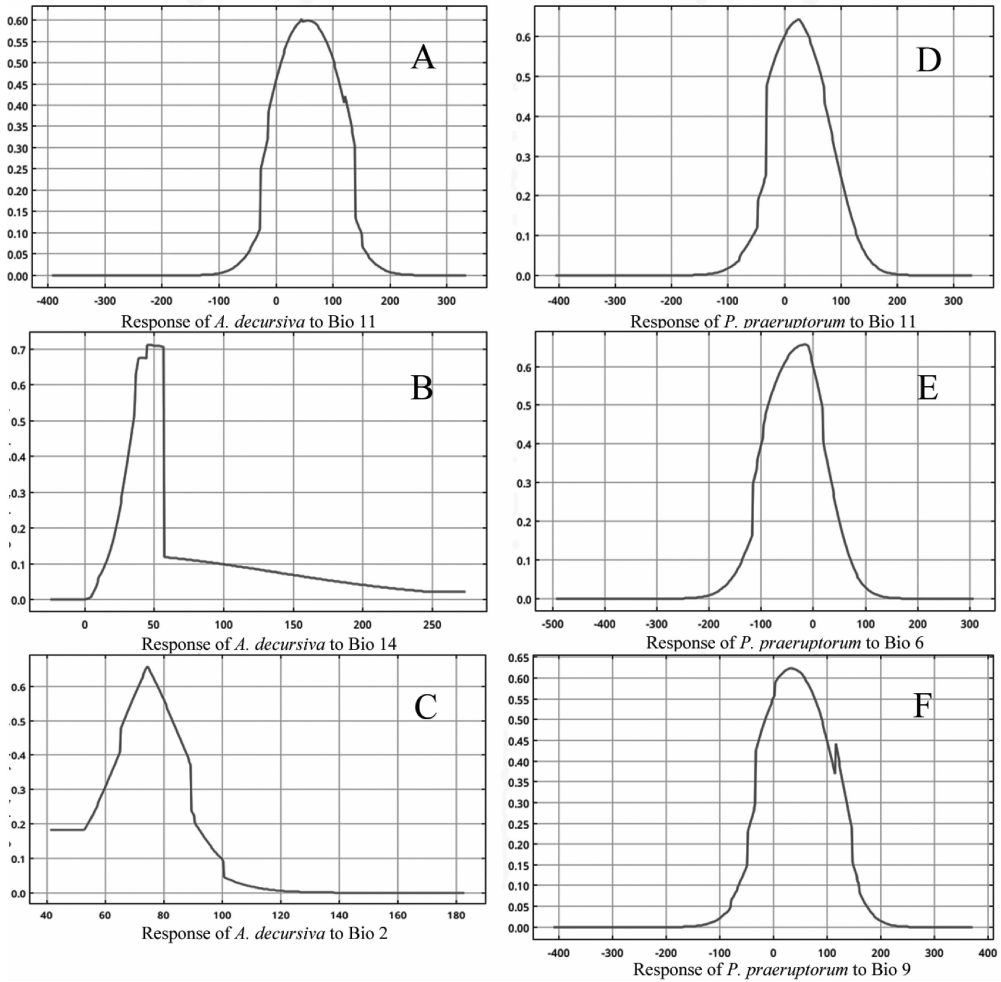


图 4 前胡和紫花前胡分布存在概率与各环境因子关系

A, D. 最冷季度平均温度; B. 最干月降水量; C. 昼夜温差月均值; E. 最冷月最低温; F. 最干季度平均温度  
 Fig. 4 Relationships between *Angelica decursiva* (A, B, C), *Peucedanum praeruptorum* (D, E, F) probability of presence and environment factors  
 A, D. Bio 11; B. Bio 14; C. Bio 2; E. Bio 6; F. Bio 9

如图 3 所示,根据选择出的环境因子,对药用植物前胡和紫花前胡适生区的影响程度进行预测,发现最干月降水量、最冷季度平均温度、昼夜温差月均值、最冷月最低温和最干季度平均温度对前胡和紫花前胡分布预测的影响较大.前胡和紫花前胡的花期主要在 8-9 月,在其分布区,这一时期合适的最干月降水量和最干季度平均温度能促进其开花和结实,而 9-10 月干燥多风的环境适合带翅种子的传播<sup>[28]</sup>.但随着 10 月底气温降低,带种子的地上部分开始枯萎,种子的传播很受限制<sup>[29,30]</sup>.通过考察、查阅标本得出前胡和紫花前胡能够在 100~2800 米的海拔范围内生长,但是经过考察,大部分植株均生长在 2500m 以下的海拔范围内,通常生长在林缘、路旁和山坡等地,并且两种植物的适生区预测结果也说明较低海拔更适合其分布,因此海拔这一环境因子对前胡和紫花前胡的分布也具

有一定的限制性.分析得出前胡最佳生长条件为:最冷季度平均温度 $-30\sim 65^{\circ}\text{C}$ ,最冷月最低温 $-20\sim 20^{\circ}\text{C}$ ,最干季度平均温度 $-20\sim 90^{\circ}\text{C}$ (图 4 D, E, F).紫花前胡最佳生长条件为:最冷季度平均温度 $10\sim 100^{\circ}\text{C}$ ,最干月降水量 $30\sim 55\text{mm}$ ,昼夜温差月均值 $66\sim 83^{\circ}\text{C}$ (图 4 A, B, C).

本研究对前胡和紫花前胡潜在适生区等级的确定,对于规划野生药材的收集及其生物学研究具有重要意义,同时为准确、全面了解中药材的分布和资源蕴藏量提供基础数据.最新版中国药典(2010)中将紫花前胡单独列举,但其药用和功效依然同前胡一样,但现代研究证明两者在应用上并不等同于前胡<sup>[7]</sup>.因此两者在分布区(尤其是最佳适生分布区)上的差异为临床上正确区分和使用前胡和紫花前胡提供了一定的理论依据.依据前胡和紫花前胡的环境限制因子,在其最佳适生区设置栽培

点是增加产量,保护资源多样性的可行途径,也是满足其日益增长需求的有效途径。

### 参考文献:

- [1] 梁·陶弘景. 名医别录 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1986: 122.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(2010 版一部) [S]. 北京: 中药医药科技出版社, 2010, 317.
- [3] 徐广侠. 研究分析白花前胡的有效成分及其在临床上的药理学应用 [J]. 中外健康文摘, 2012, 9(47): 415.
- [4] 周国莉, 刘宇婧, 任守利, 等. 白花前胡和紫花前胡挥发油成分的分析 [J]. 湖南中医药大学学报, 2010, 30(5): 26.
- [5] 刘元, 李星宇, 宋志钊, 等. 白花前胡丙素和紫花前胡苷祛痰作用研究 [J]. 时珍国医国药, 2009, 20(5): 1049.
- [6] 何冬梅, 吴斐华, 孔令义. 白花前胡药理作用的研究进展 [J]. 药学与临床研究, 2007, 15(3): 167.
- [7] 单锋, 郝近大, 黄璐琦. 2010 年版《中国药典》中“紫花前胡”功效描述的商榷 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(12): 2464.
- [8] 刘宇婧. 白花前胡和紫花前胡的生药学研究 [D]. 湖南中医药大学, 2010.
- [9] 孙希彩, 张春梦, 李金楠, 等. 紫花前胡的化学成分研究 [J]. 中草药, 2013, 44(15): 2044.
- [10] 鲁曼霞, 李丽丽, 李芝, 等. 紫花前胡花和根挥发油成分分析与比较 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(1): 74.
- [11] 张艺, 贾敏如, 孟宪丽, 等. 中药紫花前胡抗血小板活化因子(PAF)作用的研究 [J]. 成都中医药大学学报, 1997, 20(1): 39.
- [12] Zhao D F, Islam M N, Bo R A, *et al.* In vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of *Angelica decursiva* [J]. Arch Pharm Res, 2012, 35(1): 179.
- [13] Cho S H, Kim D K, Kim C S, *et al.* Induction of apoptosis by *Angelica decursiva* extract is associated with the activation of caspases in glioma cells [J]. J Korean Soc Appl Biol, 2009, 52: 241.
- [14] Kim D H, Kim D Y, Kim Y C, *et al.* Nodakenin, a coumarin compound, ameliorates scopolamine-induced memory disruption in mice [J]. Life Sci, 2007, 80(2): 1944.
- [15] 熊永兴, 陈科力, 刘义梅, 等. 药用植物白花前胡资源调查 [J]. 时珍国医国药, 2013, 24(11): 2786.
- [16] 李翠芬, 张久胜. 前胡仿野生栽培技术探讨 [J]. 亚太传统医药, 2014, 10(3): 41.
- [17] 蔡菁, 陈放, 王胜华. 生物燃料植物麻疯树适生区预测 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2012, 49(1).
- [18] 蔡静芸, 张明明, 粟海军, 等. 生态位模型在物种生境选择中的应用研究 [J]. 经济动物学报, 2014, 18(1): 47.
- [19] Ortega-Huerta M A, Townsend Peterson A. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods [J]. Rev Mex Biodivers, 2008, 79(1): 205.
- [20] 陈诚, 赵珂, 李小林, 等. 镍矿区紫茎泽兰根际及内生细菌多样性研究 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52(6): 1388.
- [21] 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(2): 423.
- [22] 韩阳阳, 王焱, 项杨, 等. 基于 Maxent 生态位模型的松材线虫在中国的适生区预测分析 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2015, 39(1): 6.
- [23] 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 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3354.
- [24] Hijmans R J, Guarino L, Bussink C, Mathur P, Cruz M. DIVA-GIS. Version 7.1.7. A geographic information system for the analysis of species distribution data [EB/OL]. <http://www.diva-gis.org>, 2004.
- [25] 张海娟, 陈勇, 黄烈健, 等. 基于生态位模型的薇甘菊在中国适生区的预测 [J]. 农业工程学报, 2011(S1): 413.
- [26] 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(4): 365.
- [27] Phillips SJ, Dudik M, Miroslav K., Schapire RE. A maximum entropy approach to species distribution modeling [C]// International Conference on Machine Learning. ACM, 2004: 83.
- [28] She ML, Pu F D, Pan Z H. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 2005, 14: 164-165, 186.
- [29] 韩邦兴, 王德群. 紫花前胡生物学特性研究 [J]. 现代中药研究与实践, 2005, 19(5): 22.
- [30] 韩邦兴, 王德群. 白花前胡生物学特性初步研究 [J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(4): 45.