

基于MaxEnt模型和ArcGIS的远志生境适宜性评价

张孟容*, 郭敏娜, 蔡翠芳
(山西药科职业学院, 太原 030000)

[摘要] 目的:远志主产东北、华北、西北和华中地区以及四川省,不同产地的药用植物远志有明显质量差异,且远志的栽培区较为集中,在全国范围内针对远志的适宜性区划研究较少,为确定全国范围内的远志适宜区划,根据远志采样点所分布区域的生态因子,对全国范围内远志的生境适宜性进行评价分析。方法:运用MaxEnt模型筛选出影响远志生境分布的生态因子,构建评价模型,利用ArcGIS软件对远志的生境进行适宜性评价,得到全国范围内远志生境的高适宜区、中适宜区、低适宜区和不适宜区。结果:评价模型精度较高,得出远志在我国的适宜性分布区面积为 $3.21 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中高适宜区面积为 $0.52 \times 10^6 \text{ km}^2$;中适宜区面积为 $0.96 \times 10^6 \text{ km}^2$;低适宜区面积为 $1.73 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。高适宜区主要分布在山西省、河北省、山东省、陕西省、辽宁省和河南省。影响远志分布的主要生态因子有年均温变化范围、最干季度平均温度、最湿季度降水量、海拔、坡度、上层(0~30 cm)碳酸盐或石灰含量。结论:研究结果与相关文献的记载较为吻合,可为中药远志的野生资源保护与栽培种植提供理论参考。

[关键词] MaxEnt; ArcGIS; 远志; 适宜性评价

[中图分类号] R284.2;R289;R22;R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2021)04-0122-08

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20210314

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20210112.1324.001.html>

[网络出版日期] 2021-1-13 13:21

Habitat Suitability Evaluation of *Polygala tenuifolia* Based on MaxEnt Model and ArcGIS

ZHANG Meng-rong*, GUO Min-na, CAI Cui-fang
(Shanxi Pharmaceutical Vocational College, Taiyuan 030000, China)

[Abstract] **Objective:** *Polygalae Radix* is mainly produced in Northeast, North, Northwest and Central China and Sichuan province. There are obvious differences in quality of *Polygala tenuifolia* from different areas. *P. tenuifolia* cultivation areas are relatively concentrated. Currently, there are only a few studies about the suitability zoning of *P. tenuifolia* nationwide, in order to determine the suitable zoning of *P. tenuifolia* in China. This paper made a habitat suitability evaluation of *P. tenuifolia* nationwide based on analysis of ecological factors in distribution areas of sampling points. **Method:** MaxEnt model was used to select ecological factors that affected the distribution of *P. tenuifolia* and construct an evaluation model. ArcGIS software was used to evaluate the suitability of different habitats of *P. tenuifolia*. The suitable areas were classified into high, medium, low suitability areas and unsuitable area of *P. tenuifolia* nationwide. **Result:** The evaluation model was highly accurate, and concluded that *P. tenuifolia*'s suitability distribution area in China was $3.21 \times 10^6 \text{ km}^2$, including $0.52 \times 10^6 \text{ km}^2$ of high suitability area, $0.96 \times 10^6 \text{ km}^2$ of medium suitability area and $1.73 \times 10^6 \text{ km}^2$ of low suitability area. High suitability areas were mainly distributed in Shanxi province, Hebei province, Shandong province, Shaanxi province, Liaoning province and Henan province. The main ecological factors affecting the distribution of *P. tenuifolia* were annual average temperature change range, mean temperature of driest quarter, precipitation of wettest quarter, altitude, slope and topsoil (0-30 cm) calcium carbonate. **Conclusion:** The results of the study

[收稿日期] 20200727(004)

[基金项目] 2018年中医药公共卫生服务补助专项“全国中药资源普查项目”(财社[2018]43号)

[通信作者] *张孟容, 硕士, 助教, 从事中药资源与栽培研究工作, Tel: 0351-7820638, E-mail: mrmengrongmr@163.com

are consistent with the records in relevant literatures, and can provide a theoretical basis for protection and cultivation of Chinese medicine resource *P. tenuifolia*.

[Key words] MaxEnt; ArcGIS; *Polygala tenuifolia*; suitability evaluation

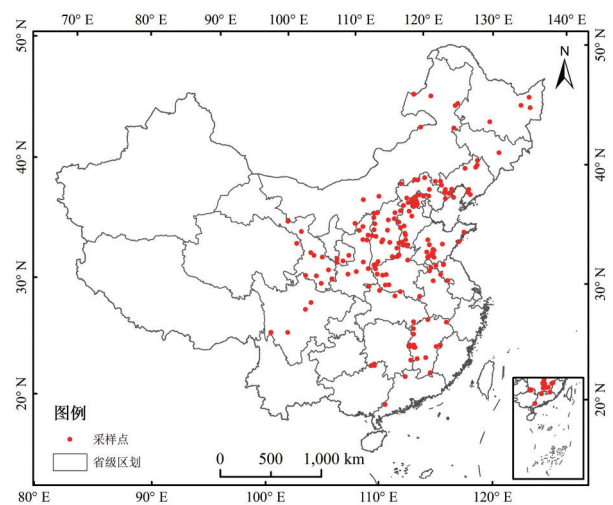
远志是我国重要的药材之一,2020年版《中华人民共和国药典》收录的远志为远志科植物远志 *Polygala tenuifolia* 或卵叶远志 *P. sibirica* 的干燥根,具有安神益智、交通心肾、祛痰、消肿等功效^[1]。其中远志 *P. tenuifolia* 为多年生草本植物,主产于东北、华北、西北和华中地区以及四川省^[2]。我国幅员辽阔,不同地区的气候、地形、土壤等生态条件有相当大的差异,也导致不同地区出产的远志质量参差不齐,产地的自然条件是影响中药材质量的一个关键因素^[3],相关研究表明不同产地野生远志中5种主要成分的含量差异显著^[4]。远志传统习用为野生品,但随着野生资源被破坏,也进行了人工驯化及大面积种植^[5-8]。但在远志的栽培种植中出现了栽培区域相对集中的现象,过度集中栽培导致病害频发并影响药材品质,需要发展新的适宜栽培区^[9]。远志产地的差异及栽培区的选择均需要对全国范围内远志的适宜生境有明确的了解,目前国内针对远志的区划研究较少,本研究意在摸清全国范围内远志的适宜生境,研究全国范围内远志的适宜性区划。有大多数研究表明MaxEnt模型在大范围内进行物种分布区的预测具有一定优势^[10-15],MaxEnt模型是运用最大熵理论(the principle of maximum entropy)基于已知的有限信息对未知分布进行推断的一种预测方法^[16],结合3S技术在中药材适宜性分析中的广泛应用^[17-18],本研究采用MaxEnt模型分析与ArcGIS空间分析相结合的方式,将远志在全国的适宜性分布区可视化,以期对远志的物种保护和人工栽培提供一定的理论参考。

1 数据来源

1.1 采样点数据 药用植物远志的采样点分布数据来源于山西省第四次全国中药资源普查实地调研,国家植物标本资源库信息网(<http://www.cvh.ac.cn>)和全球生物多样性信息数据库网络(GBIF, <http://www.gbif.org/>)。

根据第四次全国中药资源普查技术方案^[19-20],采用每个样地设置5个10 m×10 m的样方套,每个样方套内按照顺时针方向设置4个2 m×2 m的样方,收集远志分布的采样点,包括套内株数,经度,纬度,海拔,坡度,坡向等基础信息,在调研过程中

充分考虑采样点在生境分布上的代表性。在国家植物标本资源库中收集了2000—2019年所有含经纬度的远志标本采样点数据。在全球生物多样性信息数据库中收集了1970—2019年中国地区远志的采样点数据。删除数据中的重复项和地理位置过于接近的采样点后,最终统计得到全国范围内远志采样点数据193个,其具体分布情况见图1。



该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)2923号的标准地图制作,底图无修改(图2同)

图1 远志采样点分布

Fig. 1 Distribution map of *Polygala tenuifolia* sampling points

相关研究表明,在MaxEnt物种分布模型预测时,样本量达到120时即可获得较为稳定的精度值,样本量越大,精度就越稳定^[21]。因此本研究采用筛选后的193个远志采样点数据作为样本量,以期得到较为精确的预测结果。

1.2 生态因子数据 此次评价采用的53个生态因子数据包括气候、地形和土壤因子三大类,见表1。

其中气候变量数据(1970—2000年)从全球气候数据库(world clim-global climate data version 2, <http://www.worldclim.org>)下载,为全球气候数据库于2020年1月公布的1970—2000年气候变量的均值,所获得数据的空间分辨率为2.5 min,数据内容包括年平均气温(annual mean temperature),昼夜温差月均值(mean diurnal range),温度季节性变化标准差(temperature seasonality),年均温变化范围(temperature annual range)等19个气候因子。

表 1 生态因子

Table 1 Ecological factor

变量类型	生态环境变量	描述	英文描述
气候因子	Bio_1	年平均气温/°C	annual mean temperature
气候因子	Bio_2	昼夜温差月均值/°C	mean diurnal range
气候因子	Bio_3	等温性	isothermally [Bio2/Bio7)*100]
气候因子	Bio_4	温度季节性变化标准差	temperature seasonality
气候因子	Bio_5	最暖月份最高温度/°C	maximum temperature of warmest month
气候因子	Bio_6	最冷月份最低温度/°C	minimum temperature of coldest month
气候因子	Bio_7	年均温变化范围/°C	temperature annual range(Bio5-Bio6)
气候因子	Bio_8	最湿季度平均温度/°C	mean temperature of wettest quarter
气候因子	Bio_9	最干季度平均温度/°C	mean temperature of driest quarter
气候因子	Bio_10	最暖季度平均温度/°C	mean temperature of warmest quarter
气候因子	Bio_11	最冷季度平均温度/°C	mean temperature of coldest quarter
气候因子	Bio_12	年降水量/mm	annual precipitation
气候因子	Bio_13	最湿月份降水量/mm	precipitation of wettest period
气候因子	Bio_14	最干月份降水量/mm	precipitation of driest period
气候因子	Bio_15	降水量季变异系数	precipitation seasonality CV
气候因子	Bio_16	最湿季度降水量/mm	precipitation of wettest quarter
气候因子	Bio_17	最干季度降水量/mm	precipitation of driest quarter
气候因子	Bio_18	最暖季度降水量/mm	precipitation of warmest quarter
气候因子	Bio_19	最冷季度降水量/mm	precipitation of coldest quarter
地形因子	Alt	海拔/m	altitude
地形因子	Slo	坡度/%	slope
地形因子	Asp	坡向/°	aspect
土壤因子	SU_SYM90	FAO90 土壤分类系统中土壤名称	soil unit symbol(FAO-90)
土壤因子	Drainage	排水	drainage class
土壤因子	REF_Depth	土壤参考深度	reference soil depth
土壤因子	AWC_Class	土壤有效水含量	AWC range
土壤因子	Phase1	土壤相位	soil phase
土壤因子	Roots	到土壤底部存在障碍的深度分类	obstacles to roots(ESDB)
土壤因子	Add_Prop	土壤单元中与农业用途有关的特定土壤类型	other properties(gelic , velic , petric)
土壤因子	T_Texture	上层(0~30 cm)顶层土壤质地	topsoil texture
土壤因子	T_Gravel	上层(0~30 cm)碎石体积百分比	topsoil gravel content
土壤因子	T_Sand	上层(0~30 cm)沙含量	topsoil sand content
土壤因子	T_Silt	上层(0~30 cm)淤泥含量	topsoil silt content
土壤因子	T_Clay	上层(0~30 cm)黏土含量	topsoil clay content
土壤因子	T_USDA_TEX	上层(0~30 cm)USDA 土壤质地分类	topsoil USDA texture classification
土壤因子	T_REF_Bulk	上层(0~30 cm)土壤容重	topsoil reference bulk density
土壤因子	T_OC	上层(0~30 cm)有机碳含量	topsoil organic carbon
土壤因子	T_pH_H ₂ O	上层(0~30 cm)酸碱度	topsoil pH(H ₂ O)
土壤因子	T_CEC_Clay	上层(0~30 cm)黏性层土壤的阳离子交换能力	topsoil CEC(clay)
土壤因子	T_CEC_Soil	上层(0~30 cm)土壤的阳离子交换能力	topsoil CEC(soil)
土壤因子	T_BS	上层(0~30 cm)基本饱和度	topsoil base saturation

续表 1

变量类型	生态环境变量	描述	英文描述
土壤因子	T_TEB	上层(0~30 cm)交换性盐基	topsoil TEB
土壤因子	T_CACO ₃	上层(0~30 cm)碳酸盐或石灰含量	topsoil calcium carbonate
土壤因子	T_CASO ₄	上层(0~30 cm)硫酸盐含量	topsoil gypsum
土壤因子	T_ESP	上层(0~30 cm)可交换钠盐	topsoil sodicity(ESP)
土壤因子	S_Gravel	下层(30~100 cm)碎石体积百分比	subsoil gravel content
土壤因子	S_Sand	下层(30~100 cm)沙含量	subsoil sand content
土壤因子	S_Silt	下层(30~100 cm)淤泥含量	subsoil silt content
土壤因子	S_Clay	下层(30~100 cm)黏土含量	subsoil clay content
土壤因子	S_OC	下层(30~100 cm)有机碳含量	subsoil organic carbon
土壤因子	S_pH_H ₂ O	下层(30~100 cm)酸碱度	subsoil pH(H ₂ O)
土壤因子	S_CACO ₃	下层(30~100 cm)碳酸盐或石灰含量	subsoil calcium carbonate
土壤因子	S_REF_Bulk	下层(30~100 cm)土壤容重	subsoil reference bulk density

地形变量数据来自于世界气象数据网(<http://www.worldclim.org>)下载的数字高程模型(digital elevation model,简称DEM),数据分辨率为2.5 min,提取坡度、坡向等数据,数据内容包括高程(altitude),坡度(slope),坡向(aspect)3个地形因子。

土壤变量数据下载于国家冰川冻土沙漠科学研究中心(<http://www.crensed.ac.cn>)的基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1),数据内容包括土壤质地(T_Texture),障碍深度分类(roofs),土壤含沙量(T_Sand),土壤有机碳(T_OC),土壤酸碱度(T_pH_H₂O)等31个土壤因子。

2 方法与数据处理

2.1 生态因子筛选 将获得的19个气候变量因子,3个地形变量因子,31个土壤变量因子共53个因子分别进行相关性分析去除相关性较高的因子,并且运用MaxEnt模型多次运算分析,舍去贡献值为0的生态因子,最后得到21个生态因子参与模型分析,见表2。

2.2 模型构建与评价标准 利用MaxEnt软件(3.4.1)将筛选出的生态变量因子对采样点数据进行最大熵模型预测,利用分布点的25%进行模型验证,并运用刀切法(Jackknife)来评价各生态因子的权重。最后运用接受者操作特性曲线(receiver operating characteristic curve,简称ROC曲线)下的AUC(area under curve)面积来进行模型评估,判断模型预测结果的精准度。

AUC的取值为0.5~1,越接近于1则预测精度越高,结果就越准确。其中AUC值为0.5~0.6(失败),0.6~0.7(较差),0.7~0.8(一般),0.8~0.9(较好),0.9~

表2 筛选后的生态因子

Table 2 Ecological factors after selected

编号	描述
Bio_3	等温性
Bio_5	最暖月份最高温度/°C
Bio_7	年均温变化范围/°C
Bio_9	最干季度平均温度/°C
Bio_15	降水量季变异系数
Bio_16	最湿季度降水量/mm
Bio_19	最冷季度降水量/mm
Alt	海拔/m
Slo	坡度/%
Asp	坡向/°
AWC_Class	土壤有效水含量
Phase1	土壤相位
Drainage	排水
SU_SYM90	FAO90土壤分类系统中土壤名称
Add_Prop	土壤单元中与农业用途有关的特定土壤类型
T_USDA_TEX	上层(0~30 cm)USDA土壤质地分类
T_Silt	上层(0~30 cm)淤泥含量
T_OC	上层(0~30 cm)有机碳含量
T_CACO ₃	上层(0~30 cm)碳酸盐或石灰含量
S_Gravel	下层(30~100 cm)碎石体积百分比
S_Silt	下层(30~100 cm)淤泥含量

1.0(非常好)^[13]。

2.3 适宜性分区 在模型预测结果为优的条件下,利用ArcGIS软件的栅格处理功能对数据进行空间分析,得到全国范围内远志的分布概率,并将分布概率P利用Natural Breaks(自然断点法)进行适宜

性分区, 不适宜生境 $P < 0.09$; 低适宜生境概率 $0.09 \leq P < 0.27$; 中适宜生境概率为 $0.27 \leq P < 0.50$; 高适宜生境概率为 $P \geq 0.50$ 。得到远志生境的适宜性分区图, 见图2。

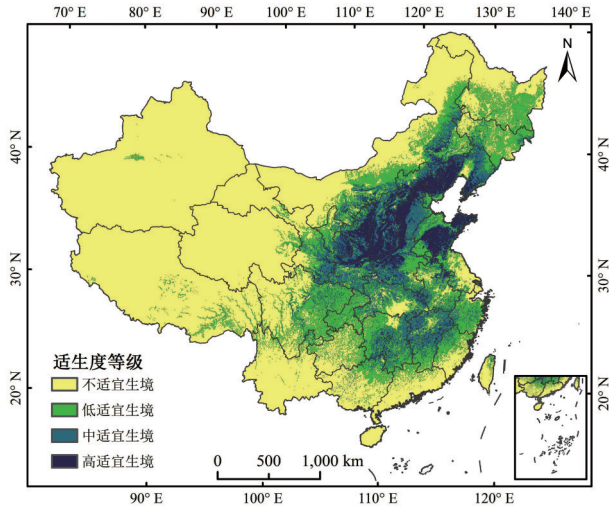


图2 远志生境适宜性分区

Fig. 2 Zone map of *Polygala tenuifolia* habitat suitability

3 结果与分析

3.1 MaxEnt模型预测精度分析 通过MaxEnt模型预测, 得到平均训练集和测试集的AUC值分别为0.923和0.926, 见图3。说明通过该模型预测远志的生境适宜性效果非常好, 有一定的参考价值。

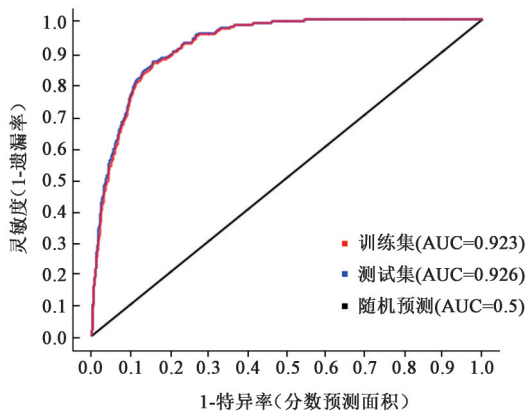


图3 MaxEnt对远志生境适宜性评价模型的ROC曲线

Fig. 3 ROC curve diagram of *Polygala tenuifolia* habitat suitability evaluation model

3.2 适宜性分区分析 通过模型预测, 远志主要分布在山西省、陕西省、河北省、山东省等地。其中高适宜区主要分布在山西省、河北省、山东省、陕西省、辽宁省和河南省; 中适宜区分布在高适宜区周边, 西至甘肃省, 东至山东省, 南至江西省, 北至辽宁省; 低适宜区面积较大, 主要分布在内蒙古自治区、四川省、黑龙江省、吉林省和湖南省。

区、四川省、黑龙江省、吉林省和湖南省。

在适宜性分区后统计每个省级行政区划内各适宜区的面积, 结果见表3。远志在我国的适宜性分布区面积为 $3.21 \times 10^6 \text{ km}^2$, 其中高适宜区面积为 $0.52 \times 10^6 \text{ km}^2$, 在适宜性生境中占比为 16.16%; 中适宜区面积为 $0.96 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占比为 30.06%; 低适宜区面积为 $1.73 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占比为 53.78%。由表可以看出, ①高适宜区主要分布在山西省、河北省、山东省、陕西省、辽宁省和河南省, 占全国高适宜区的 79.96%, 其中山西省面积最大, 为 $9.85 \times 10^4 \text{ km}^2$, 在高适宜区中占比 19.00%。②中适宜区主要分布在内蒙古自治区、陕西省、江西省、湖南省、河北省、湖北省和河南省, 占全国中适宜区的 59.76%, 其中内蒙古自治区面积最大, 为 $10.82 \times 10^4 \text{ km}^2$, 在中适宜区中占比 11.21%。③低适宜区主要分布在内蒙古自治区、四川省、黑龙江省、吉林省和湖南省, 占全国低适宜区的 46.96%, 其中内蒙古自治区的面积最大, 为 $25.59 \times 10^4 \text{ km}^2$, 在低适宜区中占比 14.81%。

3.3 主要生态因子分析 运用刀切法可以反映不同生态因子在评价模型中的权重, 其中包括不包含该生态因子、只包含该生态因子和包含全部生态因子的训练得分情况, 结合各生态因子在MaxEnt模型中的贡献率, 可以得出影响远志分布的主要生态因子有年均温变化范围, 贡献率为 32.3%; 最干季度平均温度, 贡献率为 14.1%; 最湿季度降水量, 贡献率为 13.4%; 海拔, 贡献率为 9.5%; 坡度, 贡献率为 6.8%; 上层(0~30 cm)碳酸盐或石灰含量, 贡献率为 5%。累计贡献率为 81.1%, 说明上述6个因子为影响远志分布的主要生态因子。每个因子对远志适宜性区域分布的响应曲线见图4; 各生态因子对远志生境分布影响的贡献率见表4, 对远志生境预测的权重见图5。

可以看出, 年均温变化在 $0 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 内, 远志生境的适宜度随着温差加大呈上升趋势; 最干季度平均温度在 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 远志生境的适宜度达到最大值; 最湿季度降水量在 $1000 \sim 1200 \text{ mm}$ 时, 远志生境的适宜度达到最大值; 远志生境的适宜度在海拔 $0 \sim 1000 \text{ m}$ 达到峰值后随着海拔逐渐上升呈下降趋势; 远志生境的适宜度在坡度 $0 \sim 2\%$ 达到峰值后随着坡度逐渐上升呈下降趋势; 远志生境的适宜度在上层(0~30 cm)碳酸盐或石灰含量在 $5\% \sim 10\%$ 时达到峰值, 随着含量越高, 则适宜性越低。

4 结论与讨论

从生态因子方面, 温度、降水量、海拔等对远志

表3 各行政区适宜区分布面积

Table 3 Distribution area of suitable areas in each administrative area

行政区划	高适宜区		中适宜区		低适宜区		不适宜区		总计	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
山西省	98 589.99	19.00	47 935.18	4.97	9 456.36	0.55	1 505.98	0.02	157 487.51	1.67
河北省	79 527.73	15.33	73 094.99	7.57	30 042.81	1.74	3 434.66	0.06	186 100.19	1.98
山东省	73 998.56	14.26	33 234.70	3.44	41 893.51	2.43	1 302.45	0.02	150 429.22	1.60
陕西省	69 952.16	13.48	90 766.94	9.41	39 435.29	2.28	5 807.62	0.09	205 962.02	2.19
辽宁省	50 217.24	9.68	58 651.51	6.08	24 686.86	1.43	8 779.44	0.14	142 335.05	1.51
河南省	42 534.12	8.20	66 926.69	6.94	48 146.81	2.79	6 407.17	0.10	164 014.80	1.74
内蒙古自治区	27 398.07	5.28	108 191.56	11.21	255 887.03	14.82	745 830.75	12.02	1 137 307.41	12.08
甘肃省	18 278.83	3.52	59 896.96	6.21	65 296.62	3.78	280 401.20	4.52	423 873.61	4.50
北京市	13 256.98	2.56	2 884.50	0.30	158.39	0.01	-	0.00	16 299.87	0.17
江西省	10 826.00	2.09	87 031.34	9.02	55 214.89	3.20	13 680.01	0.22	166 752.23	1.77
湖南省	9 029.10	1.74	78 856.69	8.17	105 924.10	6.13	18 424.81	0.30	212 234.69	2.25
湖北省	6 947.92	1.34	71 983.59	7.46	62 839.87	3.64	44 984.56	0.72	186 755.94	1.98
安徽省	6 739.44	1.30	39 055.58	4.05	64 868.04	3.76	29 278.53	0.47	139 941.59	1.49
江苏省	5 360.05	1.03	11 040.20	1.14	31 981.10	1.85	50 623.52	0.82	99 004.87	1.05
天津市	1 547.78	0.30	2 861.28	0.30	6 688.62	0.39	34.27	0.00	11 131.96	0.12
四川省	1 263.07	0.24	37 487.21	3.88	184 912.41	10.71	263 227.20	4.24	486 889.89	5.17
广西省	1 164.10	0.22	11 792.49	1.22	54 831.01	3.18	166 835.38	2.69	234 622.98	2.49
吉林省	740.67	0.14	20 009.75	2.07	110 872.70	6.42	57 354.42	0.92	188 977.55	2.01
浙江省	316.95	0.06	18 477.76	1.91	61 462.31	3.56	16 881.88	0.27	97 138.89	1.03
福建省	295.50	0.06	10 995.52	1.14	47 612.37	2.76	58 135.58	0.94	117 038.97	1.24
重庆市	256.47	0.05	8 729.48	0.90	65 484.94	3.79	7 639.75	0.12	82 110.63	0.87
宁夏回族自治区	208.50	0.04	12 655.46	1.31	25 416.78	1.47	14 016.19	0.23	52 296.94	0.56
云南省	125.63	0.02	2 204.46	0.23	27 576.38	1.60	349 089.25	5.63	378 995.73	4.03
台湾省	109.76	0.02	545.48	0.06	3 885.16	0.23	30 055.67	0.48	34 596.07	0.37
贵州省	32.03	0.01	2 664.85	0.28	60 422.89	3.50	112 460.10	1.81	175 579.87	1.86
黑龙江省	25.62	-	3 299.15	0.34	153 441.30	8.89	287 445.49	4.63	444 211.57	4.72
西藏自治区	18.65	-	1 852.95	0.19	42 582.00	2.47	1 150 517.51	18.54	1 194 971.11	12.69
广东省	-	-	897.03	0.09	25 986.44	1.50	143 602.50	2.31	170 485.97	1.81
青海省	-	-	735.93	0.08	14 610.71	0.85	680 498.71	10.97	695 845.34	7.39
新疆维吾尔自治区	-	-	192.58	0.02	4 938.20	0.29	1 618 696.83	26.09	1 623 827.61	17.25
香港特别行政区	-	-	-	-	94.66	0.01	602.31	0.01	696.97	0.01
上海市	-	-	-	-	49.28	-	5 448.06	0.09	5497.34	0.06
海南省	-	-	-	-	-	-	32 448.82	0.52	32 448.82	0.34

的分布均有一定影响,远志适宜区主要分布在低海拔地区,适宜温度偏暖,最湿季度降水量以1 000 mm左右为宜。查阅相关文献,远志主要产区之一山西运城新绛县一般海拔398~596 m,多年平均降雨量500 mm,1980—2018年极端最高气温

36.8~41.6 °C,极端最低气温-21.3~-9.1 °C^[22-23],生态条件与预测适宜区结果较为相符。

从适宜性地区方面,相关文献表明,远志广泛分布于我国东北、华北、西北、华中以及四川等地^[2],与本文预测的高、中度适宜区相吻合,说明本研究

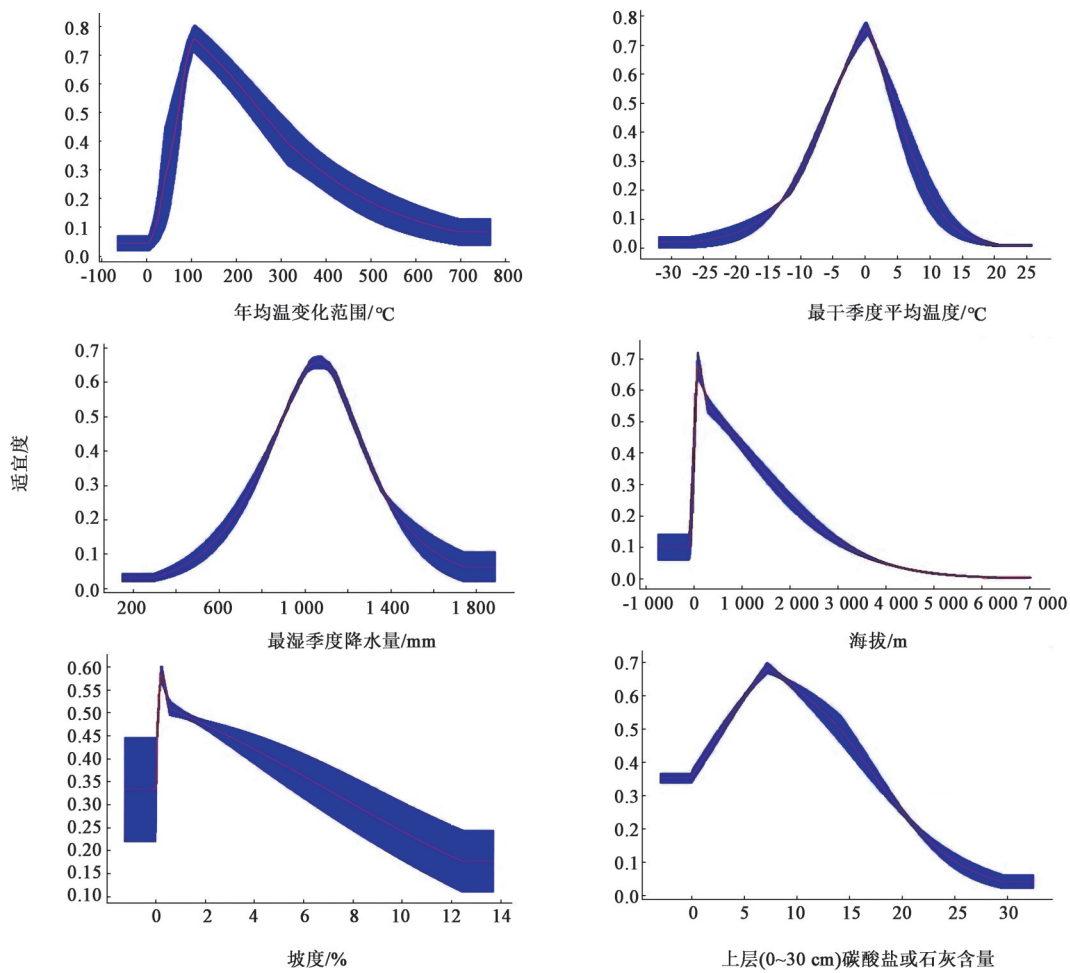


图4 主要生态因子响应曲线

Fig. 4 Response curve of major ecological factors

表4 各生态因子对远志生境分布影响的贡献率

Table 4 Contribution rate of various ecological factors to distribution of *Polygala tenuifolia*

编号	生态因子	贡献率/%	编号	生态因子	贡献率/%
Bio_7	年均温变化范围/°C	32.3	Bio_5	最暖月份最高温度/°C	1.3
Bio_9	最干季度平均温度/°C	14.1	Bio_15	降水量季变异系数	1.1
Bio_16	最湿季度降水量/mm	13.4	T_USDA_TEX	上层(0~30 cm)USDA 土壤质地分类	1.1
Alt	海拔/m	9.5	T_OC	上层(0~30 cm)有机碳 含量	0.9
Slo	坡度/%	6.8	Add_Prop	土壤单元中与农业用 途有关的特定土壤类型	0.7
T_CACO ₃	上层(0~30 cm)碳酸 盐或石灰含量	5.0	T_Silt	上层(0~30 cm)淤泥 含量	0.7
Bio_19	最冷季度降水量/mm	4.2	S_Gravel	下层(30~100 cm)碎 石体积百分比	0.6
AWC_Class	土壤有效水含量	2.2	S_Silt	下层(30~100 cm)淤 泥含量	0.5
Bio_3	等温性	2.2	Drainage	排水	0.4
Phase1	土壤相位	1.4	SU_SYM90	FAO90土壤分类系统 中土壤名称	0.3
Asp	坡向/°	1.4			

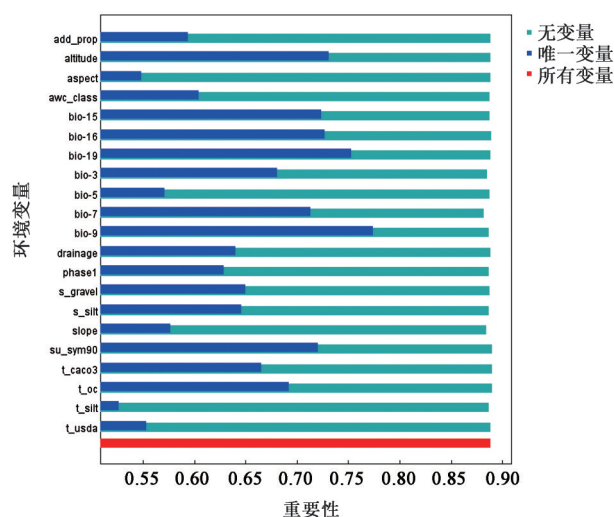


图5 各生态因子对远志生境分布预测的权重

Fig. 5 Jackknife of ecological factors for prediction of *Polygala tenuifolia* habitat distribution

能较为准确的预测远志在中国的潜在适生区。同时有研究从基原考证和产地变迁等方面表明山西为现今远志的道地产区^[3],与本研究中山西的远志高适宜区占比最高相吻合,进一步说明了MaxEnt模型预测远志生境适宜区的精准度。

研究结果可以在高、中度适宜区指导远志的野生资源保护或栽培种植,为远志的物种保护和适宜栽培区模拟提供理论依据。但全国范围大区域的模型预测会忽略复杂地形条件下的小气候差异以及不同的远志栽培品种对适宜生境的不同要求,因此可以根据当地的生境条件因地制宜进行调整和规划,以期能够为远志的生产利用和大规模人工种植提供依据。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:163.

[2] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志:43(3)卷[M]. 北京:科学出版社,1997:181.

[3] 张宝平. 中药产地对药效的影响[J]. 中国保健营养,2013,5(5):406-407.

[4] 张琳,杨冰月,王晶,等. 不同产地野生远志中5种主要成分的含量测定及质量分析[J]. 中草药,2020,51(6):1609-1616.

[5] 蒲雅洁,王丹丹,张福生,等. 远志的本草考证[J]. 中草药,2017,48(1):211-218.

[6] 冯亦平,郭吉刚,王玉庆. 远志保护地栽培技术研究[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2007,27(2):168-170.

[7] 张福生,陈彤垚,王丹丹,等. 远志药材商品规格等级与品质的关联性研究进展[J]. 中草药,2017,48(12):2358-2547.

[8] 张莉,李新民. 新绛县旱地远志的栽培技术[J]. 农业技术与装备,2015,2(1):42-43.

[9] 田洪岭,牛变花,王耀琴,等. 远志栽培现状及推广前景分析[J]. 安徽农业科学,2016,44(15):112-113.

[10] 杜玖珍,孙洪兵,周诗淇,等. 基于MaxEnt和ArcGIS的大头续断资源蕴藏量的估算研究[J]. 中草药,2018,49(17):4138-4143.

[11] 张忠廉,宋美芳,薛宇,等. 基于MaxEnt和ArcGIS的大叶钩藤生长适宜性分析及区划研究[J]. 中药材,2018,41(4):815-821.

[12] 何淑婷,白碧玉,但佳惠,等. 基于MaxEnt的南丹参在中国的潜在分布区预测及适生性分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(8):2311-2314.

[13] 弓晓敏. 基于Maxent的山西铁桥山省级自然保护区华北豹生境适宜性分析[J]. 山西林业科技,2019,48(1):14-15.

[14] 王广,张莹,张娇,等. 基于MaxEnt模型的半夏潜在适宜分布研究[J]. 武汉轻工大学学报,2018,37(6):35-40.

[15] 张童,黄治昊,彭杨靖,等. 基于MaxEnt模型的软枣猕猴桃在中国潜在适生区预测[J]. 生态学报,2020,40(14):1-8.

[16] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecol Model,2006,190(3):231-259.

[17] 孙洪兵,孙辉,蒋舜媛,等. 基于3S技术的羌活区划研究I. 基于MaxEnt和ArcGIS的羌活生长适宜性分析及评价[J]. 中国中药杂志,2015,40(5):853-862.

[18] 车乐,曹博,白成科,等. 基于MaxEnt和ArcGIS对太白米的潜在分布预测及适宜性评价[J]. 生态学报,2014,33(6):1623-1628.

[19] 黄璐琦,陆建伟,郭兰萍,等. 第四次全国中药资源普查方案设计与实施[J]. 中国中药杂志,2013,38(5):625-628.

[20] 郭兰萍,陆建伟,张小波,等. 全国中药资源普查技术规范制定[J]. 中国中药杂志,2013,38(7):937-942.

[21] 陈新美,雷渊才,张雄清,等. 样本量对MaxEnt模型预测物种分布精度和稳定性的影响[J]. 林业科学,2012,48(1):53-59.

[22] 新绛县水利水保局. 新绛县水利发展“十二五”规划报告 [EB/OL]. (2012-07-26) [2020-07-27]. <http://www.jiangzhou.gov.cn/gk/jcxx/5043.html>.

[23] 杨英. 新绛县极端气温变化特征及其对农业生产的影响[J]. 现代农业科技,2019(10):162

[责任编辑 顾雪竹]