

基于MaxEnt模型对铁杆蒿的中国潜在适生区研究

陈 聪

华北电力大学环境科学与工程学院, 北京

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月4日; 发布日期: 2026年3月12日

摘 要

铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb.)别名白莲蒿、万年蒿, 是菊科蒿属的半灌木状草本植物。常用于生态修复和医药领域, 为探究铁杆蒿的适生区变化, 本研究191条物种分布数据和19个生物气候因子、3个地形因子以及10个土壤因子数据, 采用最大熵模型(MaxEnt)和ArcGIS软件对铁杆蒿当前以及2050 s、2070 s时期, SSP126、SSP585气候模式下在中国的潜在适生区和影响因素进行预测。结果表明: MaxEnt预测结果可靠(AUC = 0.913), 其中, 最冷季度平均温度、最湿月份降水量、最冷季度降水量、海拔为影响铁杆蒿分布的主导因子; 当前气候条件下, 适生区面积为2,444,476.009 km², 集中分布于东北部省份; 随着时间推移, 在2050 s时期, SSP126、SSP585气候模式下的适生区面积分别为2,772,723.32 km²、2,879,538.7 km²; 2070 s时期, SSP126、SSP585气候模式下的适生区面积分别为2,850,733.996 km²、2,983,643.882 km²。未来适生区呈扩张趋势, 尤其以高排放情景显著: 2070 s时期SSP585背景下扩张区面积高达762,253.004 km², 扩张区向北部迁移。研究揭示铁杆蒿在不同背景下的潜在适生区分布以及影响其生长的主要环境因子, 为退耕地植被恢复引种和草药采集提供了科学参考。

关键词

最大熵模型, 气候变化, 铁杆蒿

Study on the Potential Suitable Habitat of *Artemisia sacrorum* Ledeb in China Based on the MaxEnt Model

Cong Chen

College of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing

Received: February 11, 2026; accepted: March 4, 2026; published: March 12, 2026

Abstract

Artemisia sacrorum Ledeb., also known as Bai Lianhao or Wannianhao, is a semi-shrubby herbaceous plant in the genus *Artemisia* of the Asteraceae family. It is commonly used in ecological restoration and medicine. To explore changes in the suitable habitat of *Artemisia sacrorum*, this study used 191 species distribution records and data on 19 bioclimatic factors, 3 topographic factors, and 10 soil factors. The MaxEnt model and ArcGIS software were employed to predict the potential suitable habitats and influencing factors of *Artemisia sacrorum* in China under current conditions and in the 2050s and 2070s under the SSP126 and SSP585 climate scenarios. The results indicate that the MaxEnt predictions are reliable (AUC = 0.913), with the mean temperature of the coldest quarter, precipitation of the wettest month, precipitation of the coldest quarter, and elevation being the main factors affecting the distribution of *Artemisia sacrorum*. Under current climatic conditions, the suitable habitat area is 2,444,476.009 km², mainly concentrated in northeastern provinces. Over time, in the 2050s, the suitable habitat areas under the SSP126 and SSP585 scenarios are 2,772,723.32 km² and 2,879,538.7 km², respectively. In the 2070s, the suitable habitat areas under the SSP126 and SSP585 scenarios are 2,850,733.996 km² and 2,983,643.882 km², respectively. The future suitable habitats show an expanding trend, particularly under high emission scenarios: in the 2070s under the SSP585 scenario, the expansion area reaches 762,253.004 km², with the expansion moving northward. This study reveals the potential suitable habitat distribution of *Artemisia sacrorum* under different scenarios and the main environmental factors affecting its growth, providing a scientific reference for vegetation restoration in retired farmland and medicinal plant collection.

Keywords

MaxEnt Model, Climate Change, *Artemisia sacrorum* Ledeb

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)为黄土丘陵区退耕地植被恢复进程中,草本阶段中后期的群落优势物种,该物种根系发达、抗旱性突出,是当地水土保持的优良草本植物;其通常在撂荒8~10年后开始出现,随植被恢复年限的增加分布逐步增多,在撂荒20~30年时成为群落优势种并保持稳定分布[1]。近年,关于铁杆蒿植被的研究,主要集中在研究其对土壤质量的影响、和改善土壤侵蚀环境的原理上[2][3],但气候变化背景下铁杆蒿群落其潜在适生区动态研究较少。同时,铁杆蒿也是传统蒙药的常用药材,蒙药名哈日-沙巴克,为菊科植物白莲蒿的干燥地上部分。据《内蒙古蒙药饮片炮制规范》记载,其味苦、性凉,可杀虫、止痛,还能解痉、消肿。在蒙医临床中,铁杆蒿被用于治疗脑刺痛、“粘”痧、虫牙、炭疽、白喉、皮肤瘙痒、疥和痘疹等[4]症。铁杆蒿主要含有黄酮类、肉桂酸类、香豆素类、萜类和挥发油类等成分[5][6]。具有保肝[7]、抗过敏[8]、抗肿瘤[9]、抗炎[10]、抗肥胖[11]、抗氧化[12]、抗菌[13]、镇痛[14]等药理作用[15]。

近年来,物种分布模型已在生态学、入侵生物学及保护生物学等领域得到广泛应用,常用建模方法包括生物气候分析系统模型(Bioclim)、规则集遗传算法模型(GARP)、生态位因子分析模型(ENFA)、随机森林模型(RF)与最大熵(MaxEnt)模型等。其中,最大熵模型在诸多方面表现更具优势,该模型操作简便,

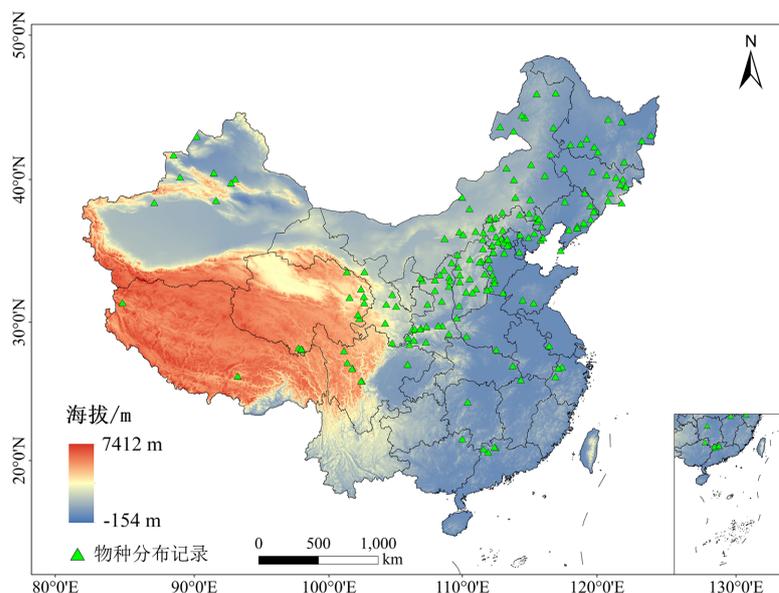
仅需物种分布点位与环境变量数据即可构建,在样本量有限的条件下仍可实现可靠预测,同时具备较强的数据解析能力,可高效刻画多变量间的复杂关系[16]。目前,姚莉[17]等人利用最大熵模型构建晚熟柑橘种植适宜性模型,为当地晚熟柑橘合理种植、优化生产空间提供科学参考。朱勇乐[18]等人基于最大熵模型预测濒危植物甘松的适生分布区,为濒危植物甘松的资源保护和合理利用提供科学依据。本研究采用 MaxEnt 模型预测铁杆蒿在当前和未来不同气候情景下的潜在适宜分布区域,并根据既定标准划分适生等级,为合理引种规划、退耕植被恢复以及生态功能优化制定提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

2.1.1. 物种分布点数据

本研究通过中国数字植物标本馆(CVH, <https://www.cvh.ac.cn/>)和全球生物多样性信息平台(GBIF, <https://www.worldclim.org/>)获取中国境内铁杆蒿的物种分布点数据。为避免样点间的空间自相关导致模型过度拟合,使用 ArcGIS 中的 SDMToolbox v.2.5 工具包对样点数据进行稀疏化处理,在每个地图栅格(1 km × 1 km)内最多保留 1 个样点,最终筛选出 191 条有效记录(图 1);将分布点数据按照物种名、经纬度的顺序录入 Excel 表格中,保存时转化为.csv 格式的文件。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 1. *Artemisia sacrorum* Ledeb of distribution site

图 1. 铁杆蒿分布位点

2.1.2. 环境变量数据获取及筛选

本研究采用的气候数据涉及降水和温度等相关的 19 个生物气候因子(bio1-19)(表 1)来源于 WorldClim 全球气候数据库(<https://www.worldclim.org/>)、3 个地形因子(海拔、坡度和坡向)(<https://worldclim.org/>)以及 10 个土壤因子来源于联合国粮农组织(FAO)和维也纳国际应用系统研究所(IIASA)所构建的世界土壤数据库(HWSD 2.0)作为预测变量。共计 32 个环境变量。其中,未来气候数据(2041-2060 和 2061-2080)选择 BCC-CSM2-MR 气候系统模式(GCMs)中的 2 种情景,即 ssp126 (SSP1-RCP2.6)和 ssp585 (SSP5-RCP8.5)

它们结合了社会经济假设与温室气体排放路径，分别代表低排放可持续发展情景和高排放、高碳用的未来情景，用于模拟全球气候变化及评估其潜在影响；10个HWSD土壤变量：clay：粘含量；cn_ratio：碳氮比；coarse：土壤砂粒粗细度；org_carbon：有机碳含量；pH：酸碱度；ref_bulk：土壤容重；sand：沙含量；silt：淤泥含量；texture：土壤质地分类；total_n：总氮含量；以上所有数据空间分辨率为1 km，并采用WGS 1984 Albers 投影坐标系。

基于R语言的cor函数，使用Pearson相关性分析，对32个环境变量进行筛选，得到各因子间的相关系数(图2)。去除相关性大于0.8，且重要性较低的环境变量。筛选出10个主要影响铁杆蒿的环境因子，即bio2、bio11、bio13、bio15、bio19、elevation、slope、aspect、coarse和texture，进行下一步工作。

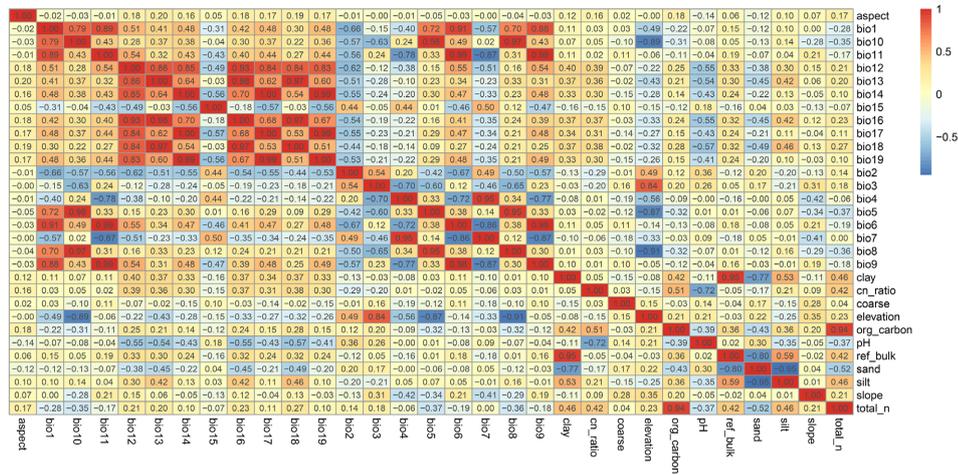


Figure 2. Analysis of correlation between environmental factors
图2. 环境因子间相关性分析

Table 1. Bioclimatic variables
表1. 生物气候因子变量

编号	环境变量	英文描述
bio1	年平均气温/°C	Annual mean temperature
bio2	昼夜温差月均值/°C	Mean diurnal range
bio3	昼夜温差与年温差比值	Isothermality
bio4	温度季节性变化标准差	Standard deviation of seasonal variation of temperature
bio5	最热月份最高温度/°C	Maximum temperature of warmest month
bio6	最冷月份最高温度/°C	Minimum temperature of coldest month
bio7	年均温变化范围/°C	Temperature annual range
bio8	最湿季度平均温度/°C	Mean temperature of wettest quarter
bio9	最干季度平均温度/°C	Mean temperature of driest quarter
bio10	最暖季度平均温度/°C	Mean temperature of driest quarter
bio11	最冷季度平均温度/°C	Mean temperature of coldest quarter
bio12	年降水量/mm	Annual precipitation
bio13	最湿月份降水量/mm	Precipitation of wettest period
bio14	最干月份降水量/mm	Precipitation of driest period
bio15	降水量变化方差	Precipitation of wettest quarter

续表

bio16	最湿季度降水量/mm	Precipitation of driest quarter
bio17	最干季度降水量/mm	Precipitation seasonality
bio18	最暖季度降水量/mm	Precipitation of warmest quarter
bio19	最冷季度降水量/mm	Precipitation of coldest quarter

2.2. 研究方法

2.2.1. MaxEnt 模型建构与评估

将筛选后的环境数据(.asc)和物种分布数据(.csv)导入 MaxEnt 3.4.4, 随机选取 75% 的分布数据用于建模, 剩余 25% 的分布数据用于模型检验。用刀切法(Jackknife)评估各变量贡献率, 并绘制响应曲线对各因子进行敏感性分析, 研究区域生成最大背景点数设为 10,000, 最大迭代次数设为 500, 其他保持默认设置。选择自举法(Bootstrap)重复运行 10 次, 取 10 次模拟结果的平均值作为最终拟结果并以 Cloglog 格式输出。采取受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic curve, ROC curve)下的面积值(Area Under the Curve, AUC)作为评判模型性能的核心指标[19], 其理论取值范围为 0.5 (随机判别水平)至 1 (完美分类水平), 数值越大, 表示模型预测效果越好, 当 AUC 值为 0.5~0.7 时, 认为模型评价结果的可靠性较低; AUC 值为 0.7~0.9 时, 表示模型模拟结果的可靠性中等; AUC 值大于 0.9 时, 表明模型评价可信度极好, AUC 值越接近 1, 模型对正负类样本的区分能力越强。

2.2.2. 适生区划分

将模型生成的.asc 文件导入 ArcGIS, 利用 Reclassify 工具, 将物种分布存在概率 $P < 0.2$ 时, 将该地区划为非适生区, $0.2 < P < 0.4$ 为低适生区, $0.4 < P < 0.6$ 为中适生区, $P > 0.6$ 时为高适生区。

3. 结果分析

3.1. MaxEnt 模型运行评价

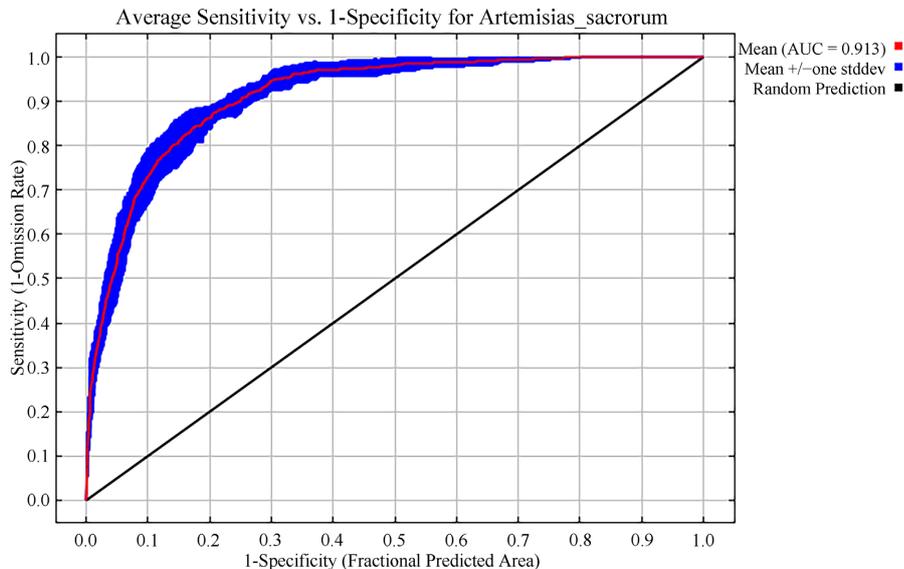


Figure 3. Receiver operating characteristic curve (ROC curve)

图 3. 受试者工作特征曲线(ROC 曲线)

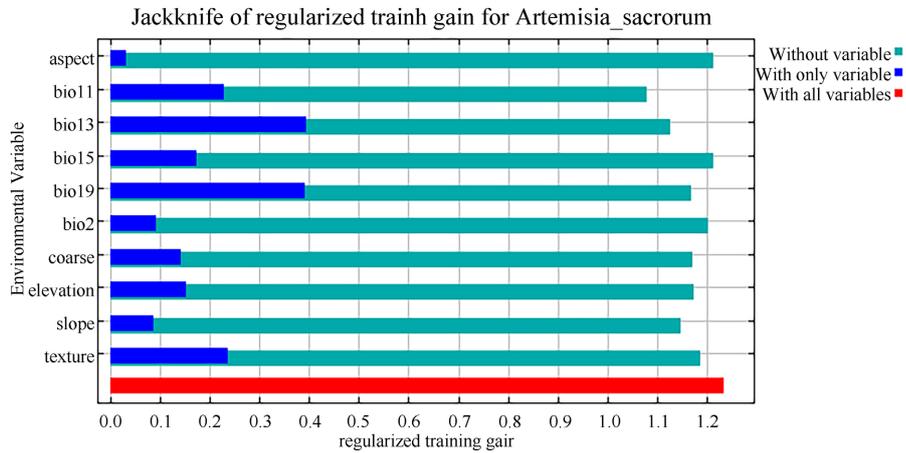


Figure 4. Knife-edge test of key environmental factors affecting the distribution of *Artemisia sacrorum* Ledeb

图 4. 影响铁杆蒿分布重要环境因子的刀切法检验

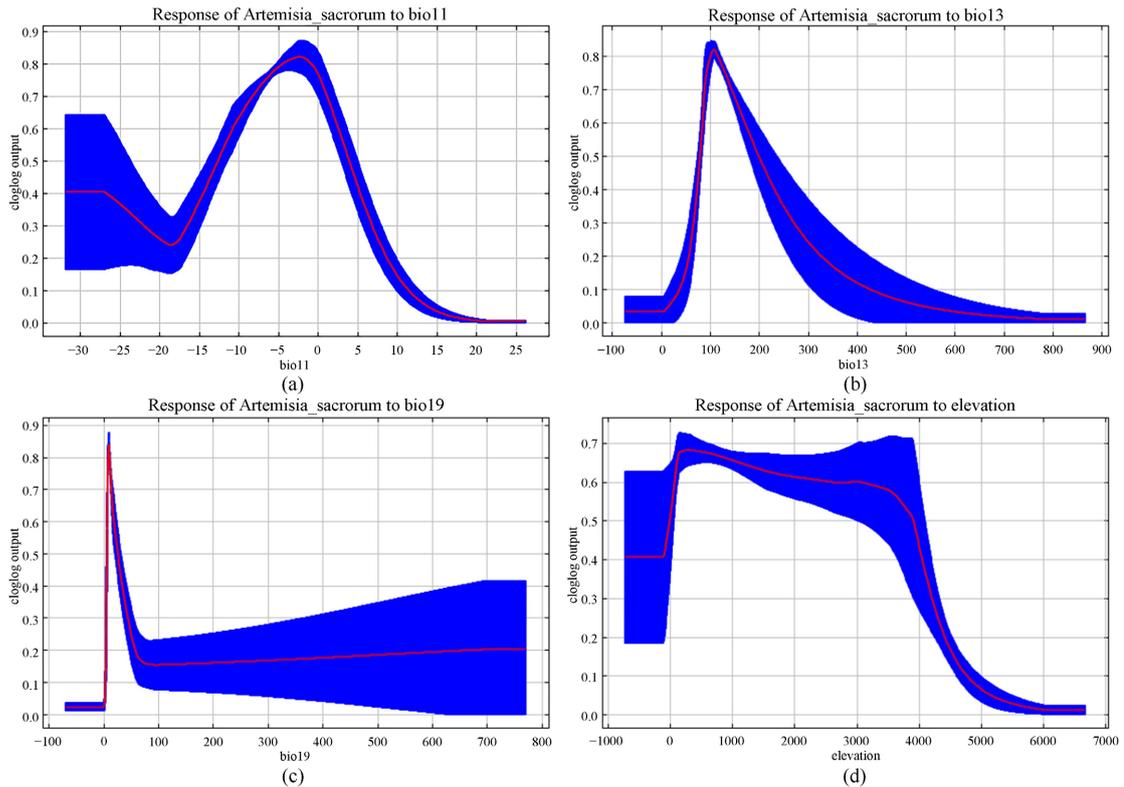


Figure 5. Response curves of key climatic variables: (a)~(d) correspond respectively to the response curve graphs of four climatic factors: mean temperature of coldest quarter ($^{\circ}\text{C}$), precipitation of wettest period (mm), precipitation of the coldest quarter (mm), and elevation

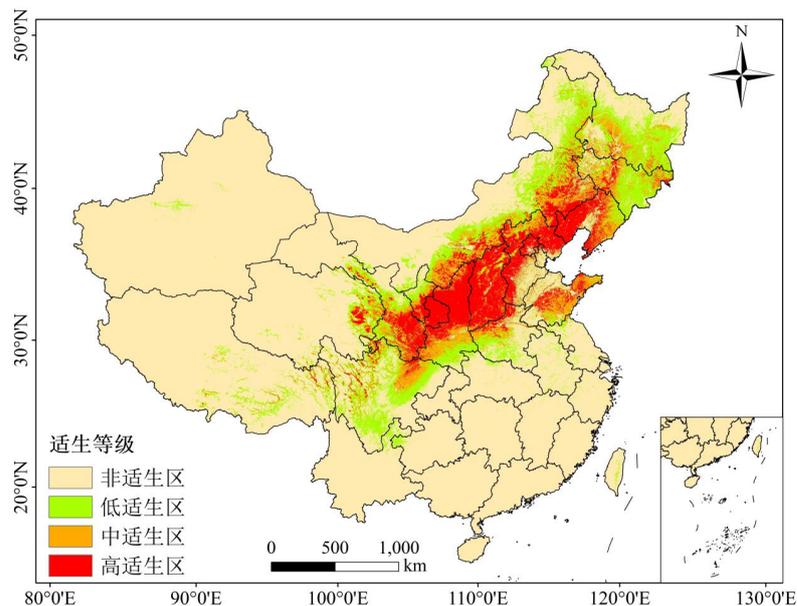
图 5. 重要气候因子响应曲线: (a)~(d)分别对应最冷季度平均温度/ $^{\circ}\text{C}$ 、最湿月份降水量/mm、最冷季度降水量/mm、海拔四个气候因子的响应曲线图

本研究中模型的 ROC 曲线下面积 AUC 值达 0.913 (图 3), 且经重复运算后表现出良好的稳定性, 表明铁杆蒿适生区的预测结果具备较高可靠性。基于模型运行结果, 本研究采用刀切法(Jackknife)分析了影响铁杆蒿潜在地理分布的环境变量(图 4), 筛选出 4 个主导环境变量, 分别为 bio11 (最冷季度平均温度

/°C)、bio13(最湿月份降水量/mm)、bio19(最冷季度降水量/mm)和 elevation(海拔)。结合主导环境变量的响应曲线(图 5)可知,铁杆蒿的最适生存环境为:最冷季度平均温度 $-12.68^{\circ}\text{C}\sim 3.92^{\circ}\text{C}$ 、最湿月份降水量 15.9 mm~198.18 mm、最冷季度降水量 6.44 mm~24.92 mm、海拔 $-15.77\text{ m}\sim 3906.6\text{ m}$ 。

3.2. 当前气候情境下适生区分布

铁杆蒿的适生区分布在 $25^{\circ}\sim 48^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间,总面积为 $2,444,476.009\text{ km}^2$ (图 6)。高适生区主要集中在辽宁省西部、内蒙古自治区东南部、河北省、山西省、陕西省北部、甘肃省东南、青海省东部、四川省北部,高适生区面积为 $737,062.9092\text{ km}^2$,中适生区分布在高适生区周边,低适生区主要分布在黑龙江省南部、内蒙古自治区西北部、吉林省东部、四川省西南部,面积分别为 $668,812.7881\text{ km}^2$ 和 $1,038,600.312\text{ km}^2$ 。



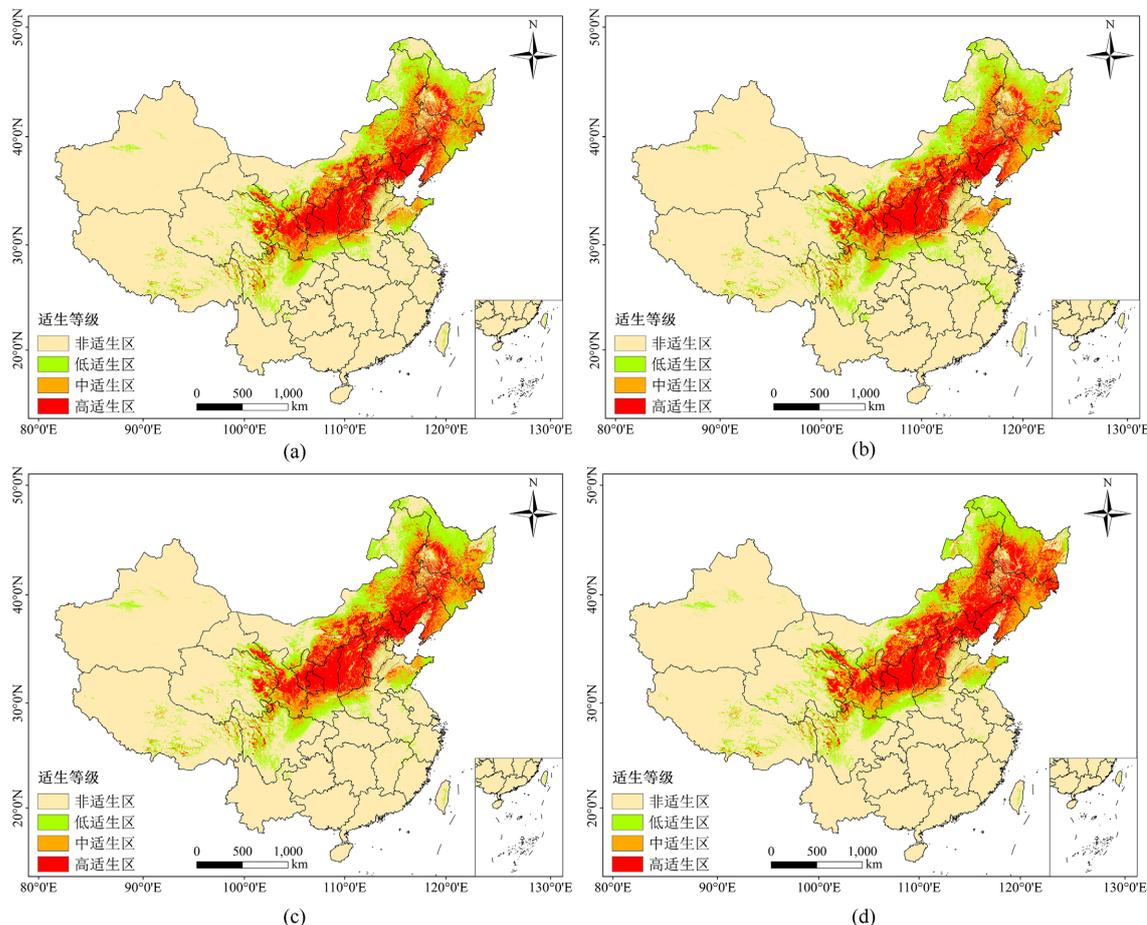
注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 6. *Artemisia sacrorum* Ledeb of *parthenocissus quinquefolia*
图 6. 当前铁杆蒿的适生区分布图

3.3. 未来情境下适生区预测

本研究通过 MaxEnt 模型对不同未来气候条件下铁杆蒿潜在适应生境范围进行了预测,未来 2050 s 时期,在 SSP126 气候情景下,铁杆蒿的适生区的总面积增加 13.4%,其中高适生区,从原来的 $737,062.9092\text{ km}^2$ 变化到了 $925,357.0509\text{ km}^2$,增加了 25.5%,中适生区增加 25.2%,低适生区缩减 2.8%。在 SSP585 气候情景下,铁杆蒿的高适生区面积增加了 36%,中适生区增加了 26.1%,低适生区基本没变。通过数据可以看出,两个气候情景下,铁杆蒿适生区增加,并向中高适生区过渡,意味着铁杆蒿对环境的适应能力变强了。2070 s 时期,在 SSP126 气候情景下,铁杆蒿的适生区总面积相较于当前增加了 $406,257.987\text{ km}^2$,低、中、高适生区分别增加了 3.9%、28.2%、23.9%。在 SSP585 气候情景下,铁杆蒿的适生区总面积增加了 22.05%,其中,高适生区增加明显,较当前增加了 52.4%,低适生区缩减了 3.6%、中适生区增加了 28.4% (图 7)。综上所述,未来气候条件下,铁杆蒿适应生境范围呈现出扩大趋势,且面积持续增加,

非适生区逐渐向适生区转化，其中高适生区面积变化较为明显。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 7. Distribution map of suitable areas for *Artemisia sacrorum* Ledeb under different climate models in future periods: (a)~(d) correspond respectively to the suitable habitat distribution map under the SSP126 climate scenario in the 2050 s, the suitable habitat distribution map under the SSP126 climate scenario in the 2070 s, the suitable habitat distribution map under the SSP585 climate scenario in the 2050 s, and the suitable habitat distribution map under the SSP585 climate scenario in the 2070 s

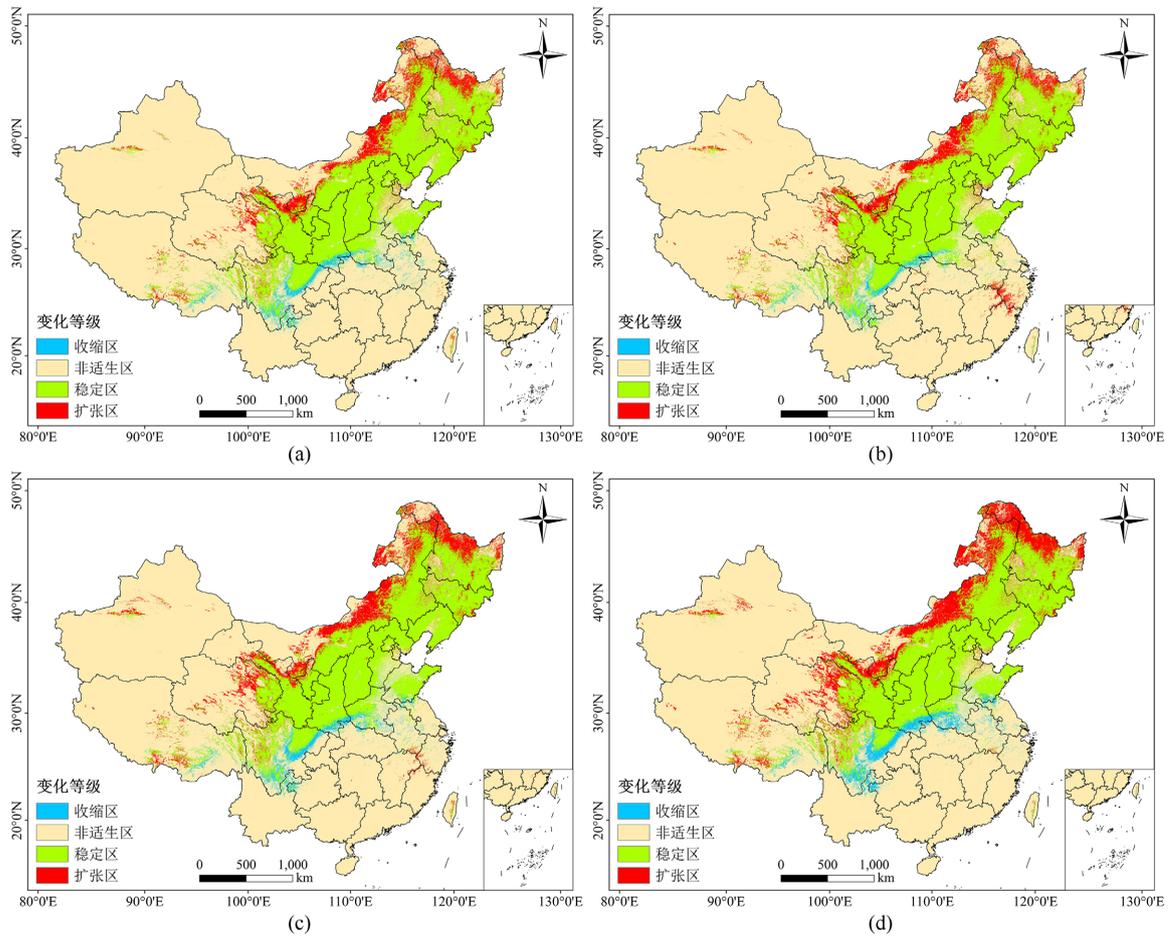
图 7. 未来不同时期不同气候模式下铁杆蒿的适生区分布图：(a)~(d)分别对应 2050 s 时期 SSP126 气候模式适生区分布图、2070 s 时期 SSP126 气候模式适生区分布图、2050 s 时期 SSP585 气候模式适生区分布图、2070 s 时期 SSP585 气候模式适生区分布图

3.4. 铁杆蒿适生空间格局变化

本研究将逻辑值 $P \geq 0.2$ 的部分定义为潜在适生区，并赋值为 1；将 $P < 0.2$ 的部分定义为非适生区，并赋值为 0。随后，在 ArcGIS v10.2 中，将图层转换为二进制图层。在分析物种适生区变化时，本研究将变化类型划分为四种：非适生区、收缩区、保留区和扩张区。具体而言，物种未来的分布面积变化均基于当前气候情景下该物种的潜在适生区面积进行比较计算。为此，我们将未来适生区的二进制图层数值乘以 2，然后与当前适生区的二进制图层相减。通过这一计算，结果如下：0→0：非适生区(始终为非适生区)；1→0：收缩区(从适生区变为非适生区)；1→1：稳定区(始终为适生区)；0→1：扩张区(从非适生区变为适生区)。

在对铁杆蒿未来各时期、气候情景的适生区分布情况进行分析后，进一步探究其适生区分布变化。

由图 8 和表 2 可知, 在未来 2050 s、2070 s 时期下, SSP126、SSP585 气候模式下, 铁杆蒿的潜在适生区呈现总体扩张的趋势, 不同时期收缩区或扩张区的面积有较大变化。2050 s 时期 SSP126、SSP585 背景下扩张区面积分别为 476,924.248 km²、592,875.686 km²; 2070 s 时期 SSP126、SSP585 背景下扩张区面积分别为 512,444.828 km²、762,253.004 km², 其中 2070 s 时期 SSP585 气候模式下扩张区面积最大。2050 s 时期 SSP126、SSP585 背景下收缩区面积分别为 148,676.937 km²、157,812.995 km²; 2070 s 时期 SSP126、SSP585 背景下收缩区面积分别为 106,186.841 km²、223,085.131 km², 其中 2070 s 时期 SSP126 气候模式下收缩区面积最小。从图中可以看出稳定区占适生区的大部分, 收缩区主要集中在四川省中部和陕西省南部, 扩张区主要集中在北部。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 8. Trend of suitable habitat changes for *Artemisia sacrorum* Ledeb in the context of future climate: (a) and (c) are distribution maps of changes in suitable areas under the SSP126 and SSP585 climate models for the 2050 s; (b) and (d) are distribution maps of changes in suitable areas under the SSP126 and SSP585 climate models for the 2070 s

图 8. 未来气候背景下铁杆蒿适生区变化趋势: (a)和(c)是 2050 s 时期 SSP126、SSP585 气候模式适生区变化分布图; (b)和(d)是 2070 s 时期 SSP126、SSP585 气候模式适生区变化分布图

Table 2. Changes in the distribution patterns of *Artemisia sacrorum* Ledeb under different climate scenarios
表 2. 不同气候情景下铁杆蒿分布格局变化

年代	气候背景	非适生区	收缩区	稳定区	扩张区
2050 s	SSP126	6678599.74	148676.937	2295799.07	476924.248

续表

2050 s	SSP585	6562648.3	157812.995	2286663.01	592875.686
2070 s	SSP126	6643079.16	106186.841	2338289.17	512444.828
	SSP585	6393270.99	223085.131	2221390.88	762253.004

4. 讨论与结论

4.1. 讨论

(1) 本研究基于 MaxEnt 模型和 ArcGIS 软件预测了铁杆蒿在当前及未来气候变化情景下的潜在适生区, 并在此基础上进一步分析了未来不同气候情景下铁杆蒿适生区分布格局的变化趋势。受试者工作特征曲线下面积 AUC 值为 0.913, 表明预测结果具有较高可靠性, 验证了 MaxEnt 模型在物种分布预测中的有效性, 在利用物种分布点与气候因子耦合分析时, 能精准捕捉铁杆蒿的生态位特征, 为其适生区格局的时空变化分析提供了可靠基础。

(2) 为探究不同环境因子对预测结果的影响程度, 本研究采用刀切法(Jackknife)对影响物种分布的主要环境变量进行重要性(贡献率)评估。分析结果显示, 在影响铁杆蒿适生区分布的环境因子中, bio11(最冷季度平均温度/°C)、bio13(最湿月份降水量/mm)、bio19(最冷季度降水量/mm)以及 elevation(海拔)具有决定性作用。但仍存在一定的局限性: 仅聚焦气候、地形以及土壤因子, 未纳入人类活动, 如农业扩张、交通网络等变量, 可能低估实际扩散潜力。未来研究可进一步整合人类活动、生物竞争等因子, 扩大数据收集范围, 优化模型预测精度。此外, 深入解析铁杆蒿与本地植物的竞争机制及其对生物多样性的长期影响, 将为生态修复提供理论支撑。

(3) MaxEnt 模型预测结果显示, 铁杆蒿的适宜生长区域范围较广, 主要集中在我国东北地区。需要注意的是, 其适生区并非固定不变, 而是会随时间推移发生动态改变。在不同气候情景下, 铁杆蒿的中度与高度适生区均表现出明显的扩张趋势, 不仅面积持续扩大, 还逐步向周边区域蔓延, 使得低适生区面积不断缩减, 部分原非适生区也逐渐转化为适宜生长区域, 整体呈现出向我国北部地区推进的格局。

4.2. 结论

本研究利用 MaxEnt 模型以铁杆蒿的地理分布点数据, 结合气候、土壤、地形 3 类环境因子, 模拟出不同气候环境的潜在适生区分布, 并分析出影响物种存在的主要环境因子。得出结论如下: 铁杆蒿的适生区分布范围很广, 主要集中在我国主要分布于辽宁省、内蒙古自治区、河北省、山西、陕西省、甘肃省、青海省、四川省, 总面积为 2,444,476.009 km²。随时间推移, 在 2050 s 时期, SSP126、SSP585 气候模式下的适生区面积分别为 2,772,723.32 km²、2,879,538.7 km²; 2070 s 时期, SSP126、SSP585 气候模式下的适生区面积分别为 2,850,733.996 km²、2,983,643.882 km²; 影响其适生区变化的重要环境因子包括 bio11(最冷季度平均温度/°C)、bio13(最湿月份降水量/mm)、bio19(最冷季度降水量/mm)以及 elevation(海拔)。当前至未来 2 个时期(2050 s、2070 s)在 SSP126、SSP585 气候模式下, 铁杆蒿适生区整体呈现扩张趋势, 适生区的面积有较大程度的变化。为合理引种规划、退耕植被恢复以及生态功能优化制定提供科学依据。

参考文献

- [1] 周萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 9-18.
- [2] 寇萌. 黄土丘陵沟壑区植物改善土壤侵蚀环境的群落生态学特性[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2013.

- [3] 张婷, 陈云明, 武春华. 黄土丘陵区铁杆蒿群落和长芒草群落地上生物量及土壤养分效应[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(5): 91-97.
- [4] 那生桑. 内蒙古蒙药饮片炮制规范[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2022.
- [5] 王青虎, 吴荣君, 齐格奇, 等. 蒙药铁杆蒿化学成分研究[J]. 中国药学杂志, 2015, 50(16): 1380-1383.
- [6] 刘丹. 万年蒿花序化学成分的研究[D]: [硕士学位论文]. 延吉: 延边大学, 2015.
- [7] 朴光春, 权迎春. 万年蒿提取物对小鼠肝损伤的保护作用[J]. 时珍国医国药, 2007(7): 1646-1647.
- [8] 张曼. 白莲蒿对肥大细胞介导的过敏模型的抗过敏作用[J]. 国外医药(植物药分册), 2006(1): 34.
- [9] 黄思思, 周芊芊, 罗婷, 等. 香豆素类化合物抗肿瘤机制的研究进展[J]. 上海医药, 2022, 43(1): 70-74.
- [10] 徐彝, 李纳, 刘吉爽, 等. 吉林省不同产地万年蒿中东茛菪内酯 HPLC 含量测定[J]. 长春中医药大学学报, 2018, 34(5): 880-883.
- [11] Ma, Q.Q., Cui, Y.L., Xu, S.Y., *et al.* (2018) Synergistic Inhibitory Effects of Acacetin and 11 Other Flavonoids Isolated from *Artemisia sacrorum* on Lipid Accumulation in 3T3-L1 Cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **66**, 12931-12940.
- [12] 佟皎薇, 李佳林. HPLC 法测定蒙药材铁杆蒿不同部位中绿原酸的含量[J]. 中国民族医药杂志, 2015, 21(6): 39.
- [13] 朱文卿, 李玲玉, 张利, 等. 咖啡酰奎宁酸类化合物抑菌活性的网络药理学研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 11-20.
- [14] 王希斌, 李卉, 万瑞融. 天然黄酮类化合物有效成分镇痛机制的研究进展[J]. 右江医学, 2022, 50(1): 67-71.
- [15] 朴光春, 吕惠子, 元海丹, 等. 中药万年蒿中微量元素和维生素的含量测定[J]. 微量元素与健康研究, 2003(1): 31-32.
- [16] 杜倩, 魏晨辉, 梁陈涛, 等. 中国东北地区 12 个建群树种对气候变化响应的 ManEnt 模型分析[J]. 生态学报, 2022, 42(23): 9712-9725.
- [17] 姚莉, 邓春秀, 唐彪, 王宏, 吴月颖, 张奇, 李源洪, 刘忠友, 卢昌艾, 林超文. 基于最大熵模型(ManEnt)和地理信息系统(GIS)的四川省眉山市东坡区晚熟柑橘适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2025, 58(4): 748-758.
- [18] 朱勇乐, 王二欢, 杨祎辰, 高静, 黄壮壮, 刘峰, 赵欣. 基于最大熵模型预测濒危植物甘松的适生分布区[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(8): 96-105.
- [19] 梁静, 李秀璋, 张振西, 等. 基于 MaxEnt 模型预测冬虫夏草在青海省的潜在适生区[J]. 草原与草坪, 2025, 45(1): 45-51.