

新疆板蓝根等6种沙漠经济植物土地适宜性评价 数据集研发方法

张萍^{1,2}, 王欣鹏³, 范敬龙^{1,2}, 张冠峰⁴, 张恒^{1,2*}, 俞祥祥^{1,2}

1. 中国科学院新疆生态与地理研究所国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心, 乌鲁木齐 830011;
2. 塔克拉玛干沙漠生态系统新疆野外科学观测研究站, 巴音郭楞蒙古自治州 841900;
3. 中碳能源(山东)有限公司, 潍坊 262700; 4. 新疆且末县塔中气象站, 巴音郭楞蒙古自治州 841000

摘要: 为了解沙漠经济植物在新疆的潜在适生区, 本文共选取了6种植物(板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘、枸杞)作为研究对象, 基于6种植物在新疆区域的样本点以及生物气候、土壤和地形3类环境因子等共31个环境变量, 利用MaxEnt模型建立了6种沙漠经济植物的物种分布模型。在所建模型基础上, 绘制了新疆6种沙漠经济植物在当前气候变化下的潜在适生区, 并对6种沙漠经济植物在新疆的土地适宜性进行了可视化。最终构建了板蓝根、甘草、枸杞、黑果枸杞、红花、沙棘土地适宜性评价数据集6个。结果显示各植物适宜性评价模型的AUC值均大于0.8, 表明预测结果较为准确。每个数据集均包含2个数据文件:(1) 该类植物土地适宜性评价结果数据, 以.txt和.tif格式储存;(2) 该类植物空间分布点数据(引用数据), 包括.xlsx和.shp格式。

关键词: MaxEnt模型; 沙漠经济植物; 空间分布; 适生区

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.02.09>

CSTR: <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.02.09>

收稿日期: 2025-03-25; 修订日期: 2025-05-20; 出版日期: 2025-06-25

*通讯作者: 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn

- 数据引用方式: [1] 张萍, 王欣鹏, 范敬龙等. 新疆板蓝根等6种沙漠经济植物土地适宜性评价数据集研发方法[J]. 全球变化数据学报, 2025, 9(2): 209–221. <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.02.09>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.02.09>.
- [2] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆板蓝根土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.02.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.02.V1>.
- [3] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆甘草土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.03.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.03.V1>.
- [4] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆枸杞土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.04.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.04.V1>.
- [5] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆黑果枸杞土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.05.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.05.V1>.
- [6] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆红花土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.06.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.06.V1>.
- [7] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆沙棘土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.07.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.07.V1>.

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版,可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.02.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.02.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.03.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.03.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.04.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.04.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.05.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.05.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.06.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.06.V1>.

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.07.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.07.V1>.

1 前言

物种适生区预测是生态学领域中的关键研究课题,它在多个方面发挥着重要作用,包括有害生物的防治^[1]、珍稀濒危物种的保护^[2,3]以及作物引种和栽培^[4,5]等。物种分布模型(species distribution models, SDMs)是预测物种潜在地理分布和栖息地适生性的有利工具^[6-8]。最大熵模型(MaxEnt)是物种分布模型之一,该模型是一种通用机器学习方法,利用已知的物种分布记录及其相关的环境变量来推断物种的生态需求,进而预测研究区域内物种的潜在适生分布区^[9,10]。因MaxEnt模型具有样本需求量低、操作简便、预测精度高等特点,而被广泛认可和使用^[11]。例如:张亮^[12]利用MaxEnt模型对黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murray)在中国的潜在适生区进行了预测;陈松清^[13]基于MaxEnt模型对新疆沙棘(*Hippohgae rhamnoides* L.)的地理分布做了预测。此外,该模型还被用于预测农作物的潜在分布区域^[14]、评估气候变化对物种生长的影响^[15]、以及优化物种种植结构布局^[16]等。

目前,板蓝根(*Isatis tinctoria* L.)、红花(*Carthamus tinctorius* L.)、枸杞(*Lycium dasystemum* Pojark.)的适生区研究较少,且缺乏新疆区域适生区的可视化分析。甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、黑果枸杞、沙棘的适生区预测主要集中在全中国范围内,新疆区域内适生区的划分仍可进一步细化^[12,17,18]。综合来看,该6种沙漠经济植物在新疆的适生区预测仍需进一步研究。

本文以板蓝根、甘草、枸杞、黑果枸杞、红花和沙棘为研究对象,基于MaxEnt模型和ArcGIS技术,利用全球生物多样性信息网络数据库(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)、WorldClim2.1数据库和世界土壤数据库获取植物样本点数据和环境变量数据,分析了6种沙漠经济植物适生区在新疆的空间分布,以期为这些植物在新疆的合理利用和规划提供参考。

2 数据集元数据简介

新疆板蓝根土地适宜性评价数据集^[19]、新疆甘草土地适宜性评价数据集^[20]、新疆枸杞土地适宜性评价数据集^[21]、新疆黑果枸杞土地适宜性评价数据集^[22]、新疆红花土地适宜性评价数据集^[23]、新疆沙棘土地适宜性评价数据集^[24]的名称、作者信息、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表1。

表 1 新疆板蓝根等 6 类植物土地适宜性评价数据集元数据简表

条目	描述
数据集名称	新疆板蓝根土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Isatis tinctoria</i> L._XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	292 KB
数据集组成	板蓝根土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)
数据集名称	新疆甘草土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch._XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 马强, 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 462920056@qq.com 王龙, 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 41063307@qq.com 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	313 KB
数据集组成	甘草土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)
数据集名称	新疆枸杞土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Lycium dasystemum</i> Pojark._XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	285 KB
数据集组成	枸杞土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)

续表 1

条目	描述
数据集名称	新疆黑果枸杞土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Lycium ruthenicum</i> Murray_XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	332 KB
数据集组成	黑果枸杞土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)
数据集名称	新疆红花土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Carthamus tinctorius</i> L._XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	231 KB
数据集组成	红花土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)
数据集名称	新疆沙棘土地适宜性评价数据集
数据集短名	<i>Hippophae rhamnoides</i> L._XJSuitable
作者信息	张萍, 中国科学院新疆生态与地理研究所, z1571824849@163.com 俞祥祥, 中国科学院新疆生态与地理研究所, yuxiangxiang@ms.xjb.ac.cn 常存, 中国科学院新疆生态与地理研究所, changcun@ms.xjb.ac.cn 张恒, 中国科学院新疆生态与地理研究所, zhangheng@ms.xjb.ac.cn 范敬龙, 中国科学院新疆生态与地理研究所, fanjl@ms.xjb.ac.cn
地理区域	新疆
数据年代	生物气候变量 1970–2000, 地形数据 2000, 土壤数据 2009
时间分辨率	年
空间分辨率	30"
数据格式	.shp、.tif、.xlsx、.txt
数据量	378 KB
数据集组成	沙棘土地适宜性评价结果数据, 空间分布点数据 (引用数据)
基金项目	新疆维吾尔自治区 (2022B03030)

续表 1

条目	描述
数据计算环境	MaxEnt, ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	(1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报(中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[25] 。
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC

3 数据研发方法

3.1 数据来源

3.1.1 植物分布数据

研究所选用的植物分布数据来源于全球生物多样性信息网络数据库 (GBIF)¹, 采样年限为 1949–2020。基于此平台, 本研究获取新疆范围内的板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘和枸杞采样分布点^[26]的精确经纬度信息, 作为各类植物的空间分布基础数据。

3.1.2 环境因子数据

研究共选取 31 个环境数据用于建模, 包括 19 个生物气候变量 (Bio1–Bio19)、9 个土壤变量以及海拔、坡度和坡向变量。其中, 19 个生物气候变量及海拔数据全部来自 WorldClim2.1 数据库^[27]; 坡度坡向数据基于海拔数据利用 ArcGIS 计算得到; 表层土壤数据来源于国家冰川冻土沙漠科学数据中心^[28]。具体环境变量见表 2。

3.2 研究方法

3.2.1 分布数据处理

本研究中, 沙漠经济植物的空间范围为新疆。环境因子图层的空间分辨率为 30 弧秒, 同一栅格内各处的气候因子数据相同, 同一栅格内的冗余分布数据或重复分布数据会导致模型的过度拟合。因此, 选用 ENMTools 工具对所收集的分布数据进行筛选。ENMTools 工具是一款用于物种分布建模和预测的开源软件, 它提供了一系列功能强大的工具, 可以帮助研究人员从大量的物种分布数据中提取有用的信息。该工具可以自动匹配分析所用的环境因子图层分辨率大小, 删除同一栅格内的冗余数据, 使模型拟合结果更好。

3.2.2 环境变量筛选

环境因子之间存在相关性, 全部用于模型预测会导致过度拟合。正确量化已有物种分布点与对应环境变量间的关系是物种分布模拟的基础。模拟物种分布时应选择对物种分布

¹ GBIF. <http://www.gbif.org>.

表2 MaxEnt 模型所用环境变量一览表

类型	变量	描述	单位
生物气候变量	Bio1	年平均气温	℃
	Bio2	昼夜温差月均值	℃
	Bio3	等温性 ((Bio2/Bio7) ×100)	\
	Bio4	气温季节变化标准差 (标准差×100)	\
	Bio5	最暖月份最高温度	℃
	Bio6	最冷月份最低温度	℃
	Bio7	气温年较差 (bio5-bio6)	℃
	Bio8	最湿季度平均温度	℃
	Bio9	最干季度平均温度	℃
	Bio10	最暖季度平均温度	℃
	Bio11	最冷季度平均温度	℃
	Bio12	年降水量	mm
	Bio13	最湿月份降水量	mm
	Bio14	最干月份降水量	mm
	Bio15	降水量季节性变化	\
	Bio16	最湿季度降水量	mm
	Bio17	最干季度降水量	mm
	Bio18	最暖季度降水量	mm
	Bio19	最冷季度降水量	mm
地形	Elev	海拔	m
	Slope	坡度	°
	Aspect	坡向	\
土壤特性	T_CaCO ₃	表层土壤碳酸钙 (CaCO ₃) 含量	%
	T_cec_soil	表层土壤阳离子交换容量	cmol/kg
	T_clay	表层土壤粘粒含量	%
	T_esp	表层土壤酸碱度	\
	T_gravel	表层土壤砾石含量	%
	TOC	表层土壤有机碳含量	%
	T_pH_H ₂ O	表层土壤 pH 值	-log(H ⁺)
	T_sand	表层土壤砂粒含量	%
T_texture	表层土壤质地		

有重要影响的环境变量同时避免环境变量较高共线性导致模型预测结果过拟合^[29]。因此，为避免环境变量间共线性导致过拟合，使用 ENMTools 软件进行环境变量的相关性分析，得到各因子之间的相关性系数（图 1）。相关性系数是一种定量衡量变量之间的相关系数，其大小在-1 和 1 之间，反映了两个变量之间线性相关的程度，-1 为完美的负相关，1 为完美的正相关，绝对值越趋于 1，则说明变量之间的相关性越强。将全部 31 个环境变量进行建模，得到各环境变量的贡献率，通过每个环境变量的贡献率和相关性系数^[30]，进一步剔除相关系数的绝对值 ≥ 0.8 且贡献率 < 0.5 的环境因子，使用剩余的环境变量进行最终建模。

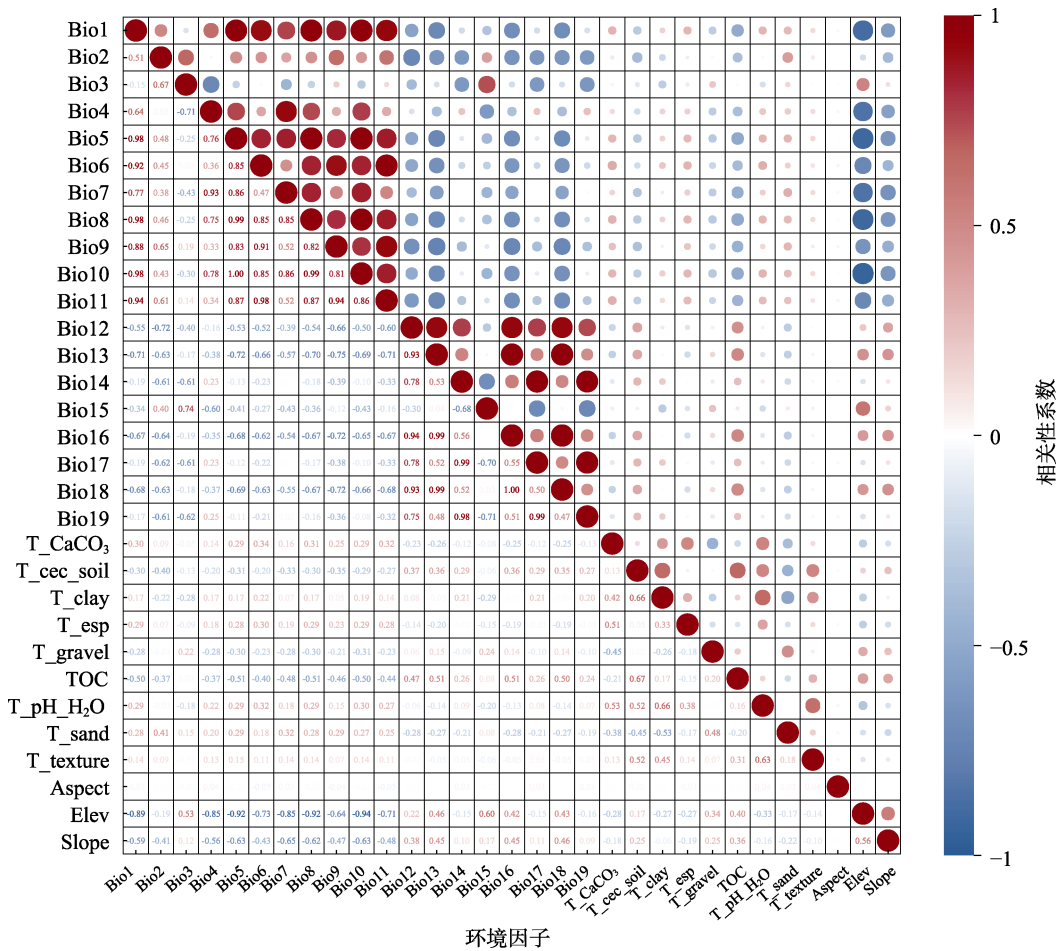


图 1 环境因子相关性分析结果图

3.2.3 最大熵建模

将处理后的物种分布数据和环境因子数据导入 MaxEnt 模型中进行训练和测试。对于每个物种，使用交叉验证提取测试集。将所有发生记录分为 10 个子集，其中 1 个子集作为测试集，其余 9 个子集作为训练集，设置最大迭代次数为 10,000，数据输出格式为 logistic。选择刀切法预测变量的重要性，并生成响应曲线。通过 10 次重复的交叉验证来建立模型，以减少不确定性。取 10 次结果的平均值作为最终结果。

模型的精度检验主要采取 MaxEnt 模型输出结果的受试者工作特征曲线 (ROC) 下的面积 AUC 值进行评估，ROC 曲线显示了在不同阈值下正确预测的分布点与错误的预测点之间的关系。AUC 的取值范围为 0–1，数值越大表示预测结果的可信度越高，AUC 值低于 0.8 表示可信度低，0.8–0.9 表示准确度好，0.9–1.0 表示准确度极好^[31]。

3.2.4 适生区划分及空间格局变化

在 ArcGIS 10.8 软件中加载 MaxEnt 模型运算结果，利用空间分析模块中的重分类功能对生成的栅格数据文件进行重分类，绘制 6 种沙漠经济植物在新疆范围的潜在适生区分布图。MaxEnt 模型预测的适生值是连续的栅格数据，数值在 0–1 之间。植物适宜性等级划分

标准按自然断点法^[32]划分为不适生区、低适生区、中适生区、高适生区。每种植物适生值自然断点法划分标准如表3所示。

表3 自然断点法划分标准

植物名称	不适生区	低适生区	中适生区	高适生区
板蓝根	0-0.06	0.06-0.23	0.23-0.49	0.49-1
甘草	0-0.09	0.09-0.26	0.26-0.51	0.51-1
黑果枸杞	0-0.08	0.08-0.25	0.25-0.52	0.52-1
红花	0-0.07	0.07-0.22	0.22-0.49	0.49-1
沙棘	0-0.09	0.09-0.26	0.26-0.54	0.54-1
枸杞	0-0.07	0.07-0.23	0.23-0.50	0.50-1

综上，本研究技术路线图如图2所示。

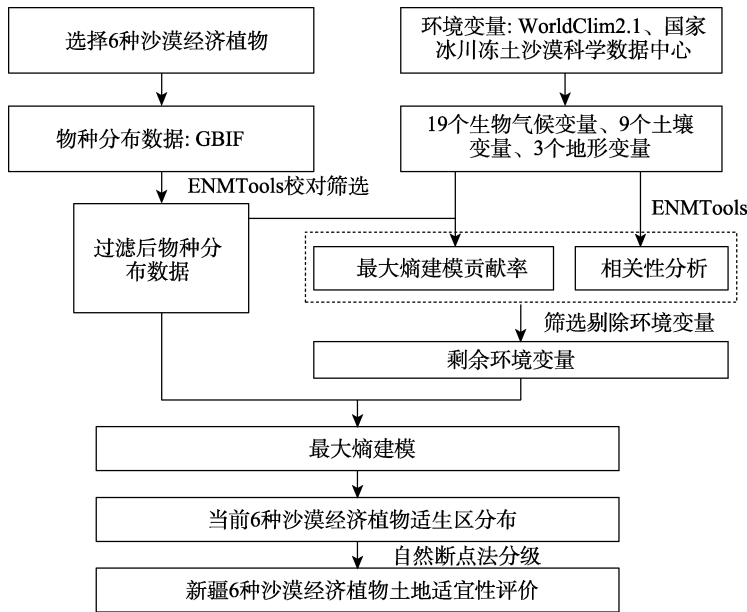


图2 数据集研发技术路线图

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

共计6个数据集，每个数据集包含2个数据文件：(1) 新疆沙漠经济植物（板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘、枸杞）土地适宜性评价结果数据，以.txt和.tif格式储存；(2) 新疆沙漠经济植物（板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘、枸杞）空间分布点数据（引用数据），包括.xlsx和.shp格式。

4.2 数据结果

4.2.1 数据过滤及 MaxEnt 模型精度评价

经用 ENMTools 工具对所收集的分布数据进行筛选，最终选取板蓝根、甘草、黑果枸

杞、红花、沙棘和枸杞植物样本点数量分别为 22、36、43、19、66 和 16。根据环境变量相关性分析和贡献度对环境变量进行过滤，过滤后板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘和枸杞的环境变量分别剩余 13、15、16、13、15 和 15 个，如图 3 各分图所示。板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘和枸杞适宜性评价模型的 AUC 值分别为：0.950, 0.874, 0.877, 0.905, 0.896, 0.943。每种植物的 AUC 值均大于 0.8，MaxEnt 模型预测结果良好，且板蓝根、红花和枸杞的 AUC 值均大于 0.9，表明预测结果较准确。

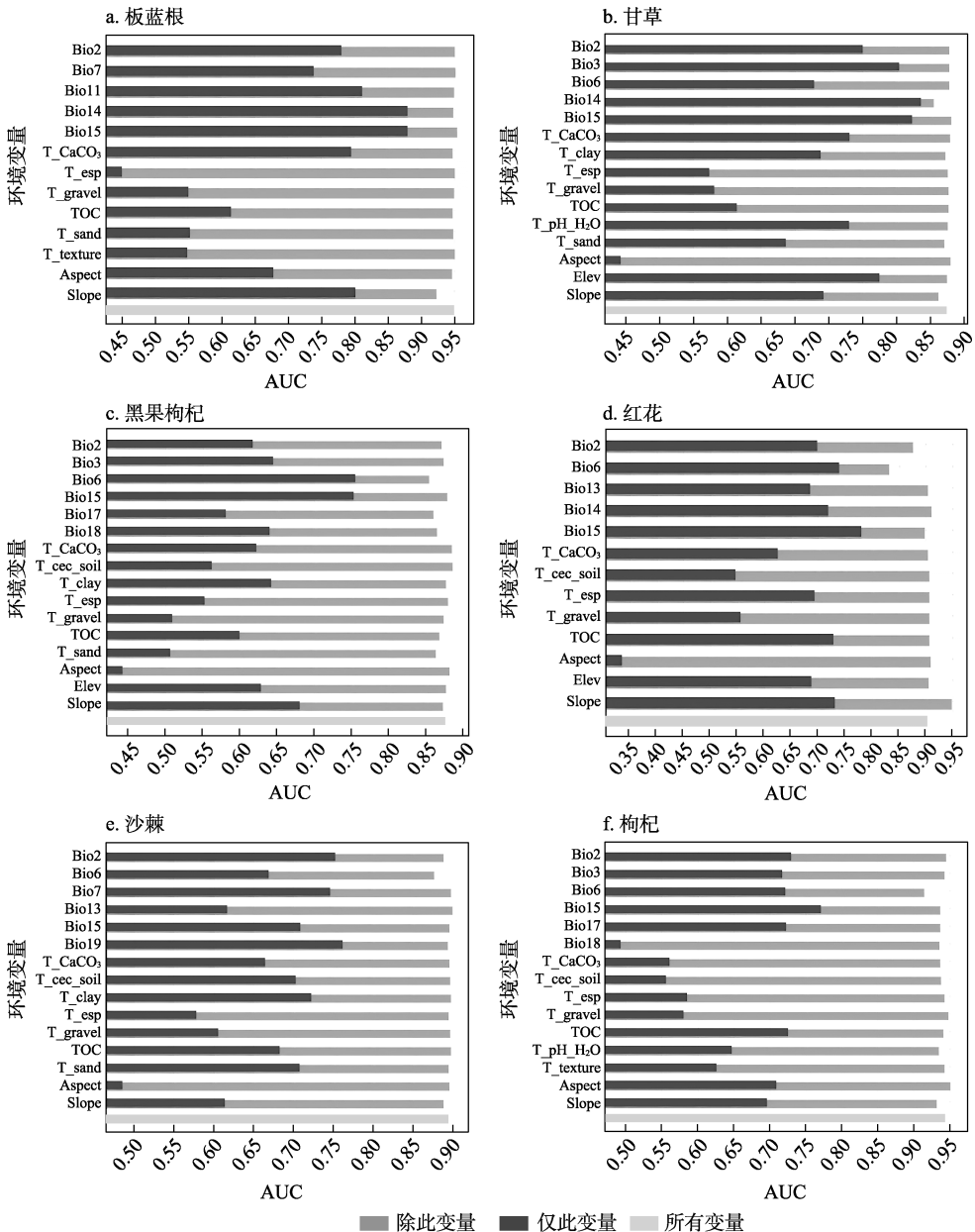


图 3 6 种沙漠经济植物模型预测结果 AUC 值对比图

4.2.2 当前气候条件下不同植物的适生区

当前气候条件下,板蓝根、甘草、黑果枸杞、红花、沙棘和枸杞在新疆的潜在适生区如图4所示,6种沙漠经济植物在新疆的适生区主要分布在绿洲区域,但各植物的潜在分布区存在一定的差异。具体如下:

(1)板蓝根高适生区主要位于新疆的西北部,集中在伊犁州、塔城地区和阿勒泰地区;中适生区分布在塔城地区、伊犁州和昌吉州等地带;低适生区主要位于哈密地区、南疆部分绿洲区和古尔班通古特沙漠等地;不适生区大多分布在南疆(图4a)。

(2)甘草高适生区集中在北疆,呈片状分布;中适生区分布在高适生区外围;低适生区主要分布在哈密地区、巴州、阿克苏和喀什等地;不适生区集中在南疆,位于巴州南部以及和田地区(图4b)。

(3)黑果枸杞高适生区呈现南疆高于北疆的分布特点,且呈带状分布,主要分布在南疆的和田-喀什-克州-阿克苏一带的绿洲区,北疆则主要分布在博州-塔城-昌吉州-乌鲁木齐-吐鲁番一带的绿洲带;中适生区主要集中在塔城地区;低适生区主要分布在巴州和阿勒泰东部(图4c)。

(4)红花高适生区主要位于各地州绿洲区,但分布稀疏且零散;中适生区集中在塔城地区的西北部和阿勒泰地区西部;低适生区主要分布在塔城地区;不适生区的范围较广,主要分布在新疆东部,特别是在阿勒泰、哈密、巴州和和田等地(图4d)。

(5)沙棘高适生区在各地州绿洲区都有分布,且呈片状分布,主要位于伊犁州和喀什地区;中适生区主要分布在塔城地区;低适生区主要分布在哈密地区、克州和喀什南部;不适生区大多集中在南疆,主要在巴州南部及和田北部(图4e)。

(6)枸杞高适生区主要位于北疆,基本呈片状分布,南疆的和田和喀什地区亦有一定分布;中适生区主要分布在塔城地区和阿勒泰地区;低适生区主要集中在和田西部、喀什东部、阿勒泰地区西部和哈密地区;不适生区主要在巴州南部(图4f)。

综合来看,在新疆地区,6种沙漠经济植物的高适生区和中适生区范围普遍较小,其中高适生区的占比均不超过5%。高适生区占比较高的植物为甘草、沙棘和枸杞,分别为3.61%、2.58%和2.46%。大部分区域为不适生区,其中红花的不适生区占比最高,达到86.27%;其次是板蓝根和黑果枸杞,不适生区占比分别为84.80%和75.01%;甘草的不适生区占比最低,为69.91%。从各类植物的低适生区范围来看,占比最高的植物是枸杞,为17.98%,最低的植物是红花,占比为9.39%。

5 讨论和总结

本研究基于MaxEnt模型和ArcGIS,结合生物气候变量、地形和土壤多维环境变量,构建了新疆沙漠经济植物的适生区预测模型。通过自然断点法将适生区划分为4个等级,所有植物适宜性评价模型的AUC值均超过0.8,验证了模型预测结果的生态合理性。研究表明,新疆6种沙漠经济植物的潜在适生区呈现明显的空间异质性,其分布格局与绿洲生态系统密切相关。高适生区占比普遍低于5%,其中甘草(3.61%)、沙棘(2.58%)和枸杞(2.46%)具有相对优势。

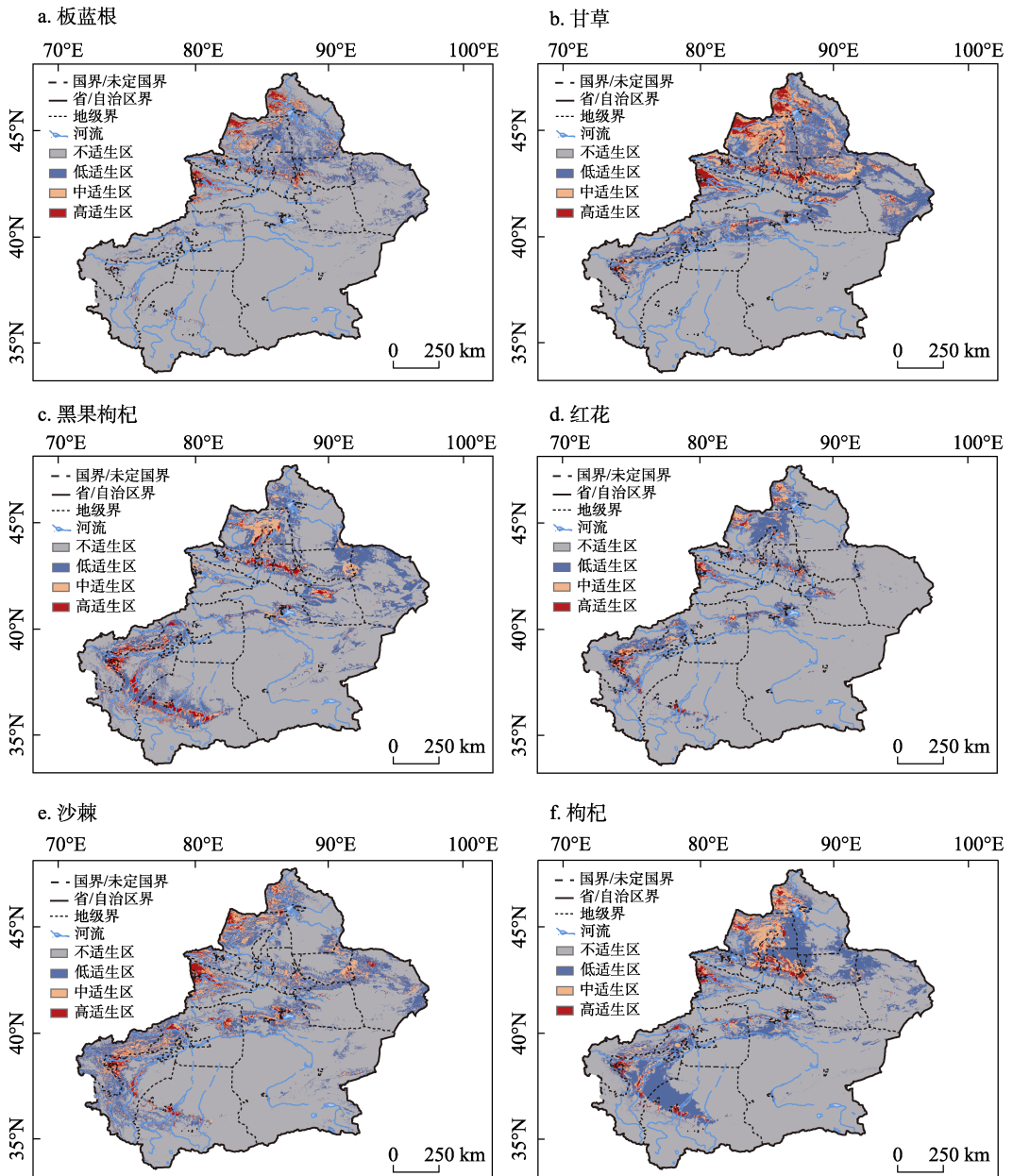


图 4 新疆 6 种沙漠经济植物的土地适宜性评价图

(该图基于新疆维吾尔自治区自然资源厅标准地图服务网站新 S(2023)061 号的标准地图制作，底图边界无修改)

本研究构建的新疆沙漠经济植物适生区数据集，可为沙漠产业空间规划提供参考，为植物资源的可持续利用提供了科学依据。未来的研究可进一步探讨沙漠经济植物适生区在未来气候变化下的时空演变过程，并量化未来各植物适生区质心迁移速率，以评估未来沙漠植物资源的可持续利用潜力。

作者分工：张萍收集和处理了数据并撰写了论文，王欣鹏、张冠峰和张恒参与处理了

数据, 范敬龙对数据集开发做了总体设计, 张恒和俞祥祥指导了本文的写作。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Qin, X. S., Li, M. X. Predicting the potential distribution of *Oxalis debilis* Kunth, an invasive species in China with a maximum entropy model [J]. *Plants*, 2023, 12(23): 3999.
- [2] Zhao, D., Wang, J., Dai, W., *et al.* Effects of climate warming and human activities on the distribution patterns of *Fritillaria unibracteata* in eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Scientific Reports*, 2023, 13: 15770.
- [3] 林宏东, 郑启泽, 申立泉等. 基于 MaxEnt 模型的兴隆山保护区野生马麝秋季生境适宜性评价[J]. *生态学杂志*, 2024, 43(1): 299–304.
- [4] Deng, C. R., Zhong, Q. W., Shao, D. K., *et al.* Potential suitable habitats of chili pepper in China under climate change [J]. *Plants*, 2024, 13(7): 1027.
- [5] Li, J. L., Deng, C. R., Duan, G. Z., *et al.* Potentially suitable habitats of Daodi goji berry in China under climate change [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2024, 14: 1279019.
- [6] Evans, J. M., Fletcher, R. J., Alavalapati, J. Using species distribution models to identify suitable areas for biofuel feedstock production [J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2010, 2(2), 63–78.
- [7] Zhao, Y., Deng, X. W., Xiang, W. H., *et al.* Predicting potential suitable habitats of Chinese fir under current and future climatic scenarios based on MaxEnt model [J]. *Ecological Informatics*, 2021, 64:101393.
- [8] Zhao, Z. Y., Xiao, N. W., Shen, M., *et al.* Comparison between optimized MaxEnt and random forest modeling in predicting potential distribution: a case study with *Quasipaa boulengeri* in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 842: 156867.
- [9] Kang, J. F., Liu, M. S., Qu, M. K., *et al.* Identifying the potential soil pollution areas derived from the metal mining industry in China using MaxEnt with mine reserve scales (MaxEnt_MRS) [J]. *Environmental Pollution*, 2023, 329: 121687.
- [10] Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3–4): 231–259.
- [11] Phillips, S. J., Dudik, M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. *Ecography*, 2008, 31(2): 161–175.
- [12] 张亮, 魏彦强, 王金牛等. 气候变化情景下黑果枸杞的潜在地理分布[J]. *应用与环境生物学报*, 2020, 26(4): 969–978.
- [13] 陈松清, 东红芳, 岳怡锋等. 不同气候情景下中国沙棘的地理分布及动态变化预测[J]. *干旱区研究*, 2024, 41(9): 1560–1571.
- [14] 周冬梅, 张仁陟, 孙万仓等. 北方旱寒区冬油菜种植气候适宜性研究[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(13): 2541–2551.
- [15] 甘小玲, 常亚鹏, 江原等. 气候变化对祁连山蒙古扁桃潜在适生区的影响[J]. *生态学报*, 2023, 43(2): 768–776.
- [16] 杨若子, 周广胜. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估[J]. *气象学报*, 2015, 73(6): 1141–1153.
- [17] 薛浩博, 刘米利, 李林山等. 基于 MaxEnt 模型的甘草潜在适生区预测[J]. *陕西林业科技*, 2024, 52(3): 19–25.
- [18] 张晓玮, 蒋玉梅, 毕阳等. 基于 MaxEnt 模型的中国沙棘潜在适宜分布区分析[J]. *生态学报*, 2022, 42(4): 1420–1428.

- [19] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆板蓝根土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.02.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.02.V1>.
- [20] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆甘草土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.03.V1>.
- [21] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆枸杞土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.04.V1>.
- [22] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆黑果枸杞土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.05.V1>.
- [23] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆红花土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.06.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.06.V1>.
- [24] 张萍, 俞祥祥, 常存等. 新疆沙棘土地适宜性评价数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.02.07.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.02.07.V1>.
- [25] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [26] GBIF.org User. Occurrence download [OL]. The Global Biodiversity Information Facility. 2024. <https://doi.org/10.15468/dl.s9sy5y>.
- [27] Fick, S. E., Hijmans, R. J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas [J]. *International Journal of Climatology*, 2017, 37(12): 4302–4315.
- [28] 卢玲, 刘超. 基于世界土壤数据库 (HWSD) 的中国土壤数据集(v1.1) [DB/OL]. 国家冰川冻土沙漠科学数据中心, 2020. <https://cstr.cn/CSTR:11738.11.ncdc.Westdc.2020.585>.
- [29] Fang, J. Q., Shi, J. F., Zhang, P., *et al.* Potential distribution projections for *Senegalia senegal* (L.) Britton under climate change scenarios [J]. *Forests*, 2024, 15(2): 379.
- [30] Tarnian, F., Kumar, S., Azarnivand, H., *et al.* Assessing the effects of climate change on the distribution of *Daphne mucronata* in Iran [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021, 193(9): 562.
- [31] Cecilia, A. C., Francisco, N. L., Ricardo, C. T., *et al.* Effects of environmental changes on the occurrence of *Oreomunnea mexicana* (Juglandaceae) in a biodiversity hotspot cloud forest [J]. *Forests*, 2017, 8(8): 261.
- [32] Shao, M. H., Wang, L., Li, B. W., *et al.* Maxent modeling for identifying the nature reserve of *Cistanche deserticola* Ma under effects of the host (*Haloxylon* Bunge) forest and climate changes in Xinjiang, China [J]. *Forests*, 2022, 13(2): 189.