

· 中药资源 ·

基于MaxEnt和GIS的新疆紫草产地生态适宜性分析[△]叶雨¹, 樊丛照², 张际昭², 赵亚琴², 邱远金², 王果平², 石书兵¹, 李晓瑾^{1,2*}

1. 新疆农业大学 农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆维吾尔自治区中药民族药研究所 国家中医药管理局新疆中药民族药资源重点实验室,
新疆 乌鲁木齐 830002

[摘要] 目的: 通过对新疆紫草进行生态适宜性评价, 为优质新疆紫草生产基地选址提供参考。方法: 选取第四次全国中药普查新疆普查空间数据中 129 份新疆紫草的基本信息, 利用最大熵 (MaxEnt) 模型和 ArcGIS 软件分析评价。结果: 影响新疆紫草分布的主要生态因子为海拔、土壤类型、植被类型、6 月降水量、12 月降水量、10 月平均气温、等温性; 新疆紫草潜在分布区为和静县、尼勒克县、博乐市、温泉县、昭苏县、霍城县、精河县、伊宁市、伊宁县、裕民县、奎屯市、阿克陶县、巩留县、乌鲁木齐县、乌恰县等; MaxEnt 模型预测结果经受试者工作特征 (ROC) 曲线评价曲线下面积 (AUC) > 0.9。结论: 新疆紫草的生态适宜性分布区主要集中在天山山脉中段的和静县、尼勒克县、博乐市、温泉县、昭苏县, 建议优先选择上述区域开展新疆紫草人工栽培。

[关键词] 新疆紫草; 生态因子; 最大信息熵模型; 生态适宜性**[中图分类号]** R282 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2022)05-0770-06**doi:**10.13313/j.issn.1673-4890.20211124006Ecological Suitability of *Arnebia euchroma* Producing Area Based on MaxEnt and GISYE Yu¹, FAN Cong-zhao², ZHANG Ji-zhao², ZHAO Ya-qin², QIU Yuan-jin², WANG Guo-ping², SHI Shu-bing¹, LI Xiao-jin^{1,2*}

1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Institute of Traditional Chinese Medicine and Ethnic Medicine, Xinjiang Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine and Ethnic Medicine, National Administration of Traditional Chinese Medicine, Urumqi 830002, China

[Abstract] **Objective:** To evaluate the ecological suitability of *Arnebia euchroma* and lay a theoretical basis for the selection of appropriate habitat for this species. **Methods:** The basic information on 129 samples of *A. euchroma* in the spatial data of Xinjiang in the Fourth National General Survey of Chinese Medicine Resources was collected and analyzed and evaluated by MaxEnt and ArcGIS. **Results:** The main ecological factors affecting the distribution of *A. euchroma* were altitude, soil type, vegetation type, precipitation in June, precipitation in December, average temperature in October, and isothermality. The potential suitable areas were Hejing County, Nileke County, Bole City, Wenquan County, Zhaosu County, Huocheng County, Jinghe County, Yining City, Yining County, Yumin County, Kuitun City, Aketao County, Gongliu County, Urumqi County, Wuqia County, etc. The MaxEnt model predicted that the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve was over 0.9. **Conclusion:** Hejing County, Nileke County, Bole City, Wenquan County, and Zhaosu County in the middle of the Tianshan Mountains are suitable for the cultivation of *A. euchroma*, which can serve as a reference for the planting of this species.

[Keywords] *Arnebia euchroma* (Royie) Johnst; ecological factors; MaxEnt model; ecological suitability

紫草为重要的道地药材, 最早见于《神农本草经》, 具清热凉血、活血解毒、透疹消斑之功效^[1]。《中华人民共和国药典》自 1963 年版开始收载新疆紫草 *Arnebia euchroma* (Royie) Johnst 为药材紫草

[△] **[基金项目]** 国家重点研发计划项目 (2019YFC1712305); 中央本级重大增减支项目 (2060302-2101-14); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目; 乌鲁木齐市中药民族药材生产区划和产业发展布局关键技术研究项目 (G161320006)

* **[通信作者]** 李晓瑾, 研究员, 研究方向: 中药资源学; Tel: 0991-2665614, E-mail: xjlxj@126.com

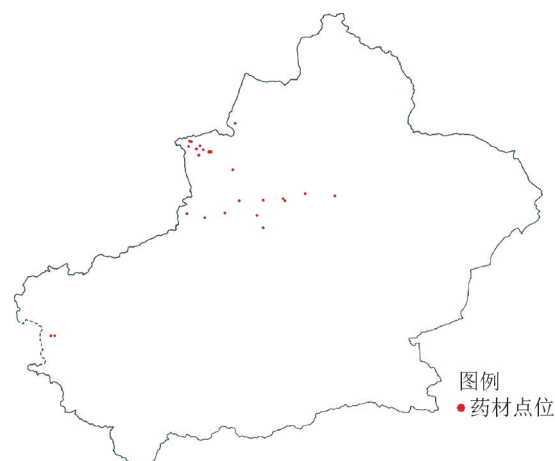
的来源之一^[2],逐步成为了主流品。研究表明,新疆紫草具有抗炎、抗肿瘤、抗菌、解热、镇痛、镇静等药理活性^[3-5],用于治疗肝炎、血管性紫癜、银屑病、烧伤等多种疾病,还可作为天然色素应用于食品、化妆品、印染工业等领域^[6]。其繁殖能力弱,且多年来遭受掠夺式采挖,导致资源处于濒危状态,现被列为国家二级保护野生植物^[7-8]。发展人工种植是濒危物种保护及合理利用的有效手段。近年来,新疆许多地方相继开展了新疆紫草人工抚育研究,但部分试验地新疆紫草种植过程出现病虫害、生长缓慢、形态变异等现象。因此,研究新疆紫草适宜种植区域,对其产业化种植及野生资源保护具有十分重要的意义。

中药生态适宜性分析能够揭示所分析药材的生长及分布规律、指导其生产的合理布局,正确评价药材生产产区的自然及社会经济条件对中药资源开发和利用绩效有直接的影响^[9]。目前,有多种用于物种生态适宜性研究的方法,常见的有最大熵(maximum entropy, MaxEnt)模型、生态位因子分析(ecological niche factor analysis, ENFA)、遗传算法(genetic algorithm for rule-set production, GARP)、生物气候分析系统(bioclimate analysis and prediction system, BIOCLIM)等模型^[10]。其中,MaxEnt模型是以MaxEnt理论为基础的密度估计和物种分布预测模型,同时引入受试者工作特征(ROC)曲线对预测结果进行评价,预测效果最好,在黄芪、中麻黄等药用植物潜在分布研究中取得了良好效果^[11-17]。近年来,新疆紫草的研究多集中于药理作用、化学成分、生物学特性等^[6,8],关于其生态适宜性的研究主要以人工抚育作为分析的基点区域^[18],选取的生态因子具有主观性,导致其研究结果受主观因素影响较大。本研究旨在采用实地普查与数据处理相结合,获取新疆紫草生物学基础数据,利用MaxEnt模型和ArcGIS软件分析评价新疆紫草的生态适宜性,探究影响新疆紫草生长的主要生态因子和生态适宜性分布区,为其野生资源的保护和生产基地选址提供参考。

1 样本数据采集

研究所用的所有新疆紫草分布数据来自于新疆维吾尔自治区中药民族药研究所第四次全国中药资源普查新疆普查空间数据,共获得新疆紫草分布信

息129条,剔除重复的经纬度分布信息点后,获得新疆紫草分布信息44条(图1)。按照MaxEnt软件要求,将采样点按物种名、分布点经度和纬度顺序储存成.csv格式的文件。



注:审图号为新S(2022)011号。

图1 新疆紫草样点分布

本研究所使用的生态因子数据均来源于中药资源空间信息网格数据库(<http://www.tcm-resources.com/>),包含降水量、日照、气候、土壤、地形和植被类型,涵盖了影响中药资源分布的所有生态因子数据^[10]。研究所用地图为标准地图服务系统网站(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)下载的1:950万中国分省(区、市)地图——新疆维吾尔自治区地图。

2 生态因子筛选及指标值确定

2.1 生态因子筛选

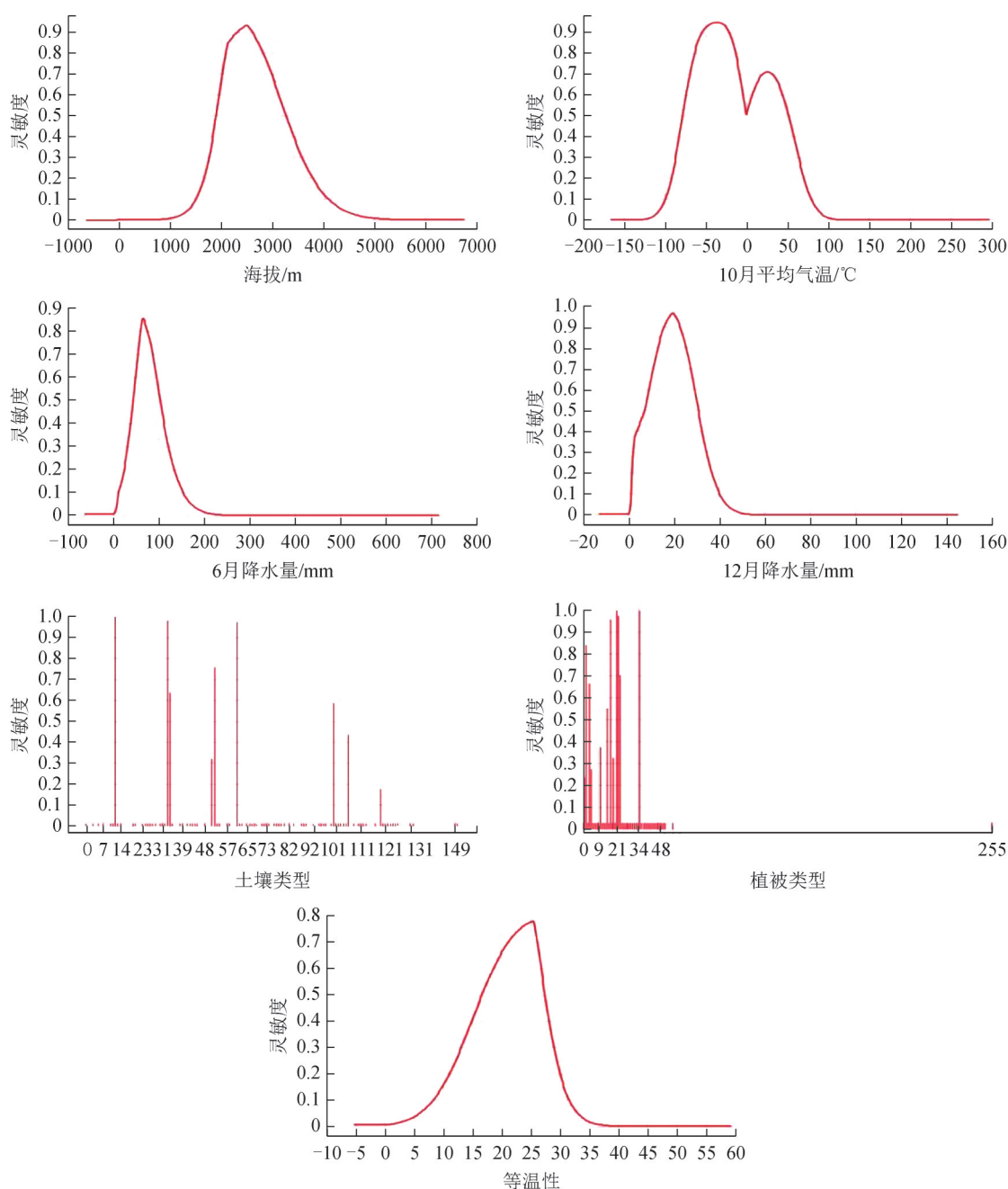
导入新疆紫草药材的采集信息和55个生态因子,进行迭代运算,舍弃方差贡献率为0的生态因子,进行二次建模。选取第2次建模累积方差贡献率>95%的生态因子和同时考虑地形、气候、植被等不同类型的生态因子的影响,最终确定影响新疆紫草生长分布的主导生态因子。通过MaxEnt模型运行结果中的响应曲线,得出生态因子适宜值。

2.2 主要生态因子指标值确定

根据MaxEnt模型自动输出的各生态因子方差贡献率,确定影响新疆紫草生长分布的主导生态因子为海拔(38.0%)、12月降水量(14.7%)、等温性(14.1%)、土壤类型(11.2%)、植被类型(3.8%)、

10月平均气温 (2.2%)、6月降水量 (1.6%)，累积方差贡献率为85.6%。利用MaxEnt软件绘制主要生态因子响应曲线，分析影响新疆紫草潜在分布的主导生态因子的特征。新疆紫草适宜区植被类型为高寒蒿草、杂类草草甸，温带丛生矮禾草、矮半灌木荒漠草原，高寒禾草、苔草草原，温带禾草、杂类草草甸草原，温带丛生禾草典型草原，高山垫状植被，温带禾草、杂类草草甸，高山稀疏植被，寒温

带和温带山地针叶林，温带禾草、苔草及杂类草沼泽化草甸，亚高山落叶阔叶灌丛等；适宜土壤类型为草甸土、滨海风沙土、盐化栗钙土、燥红土、褐红土、暗黄棕壤、流动荒漠风沙土、黑钙土；12月降水量适宜值为2~22 mm，6月降水量适宜值为10~96 mm，10月平均气温适宜值为-54~51℃，海拔适宜值为1654~4216 m，等温性适宜值为20~29。新疆紫草主要生态因子响应曲线见图2。



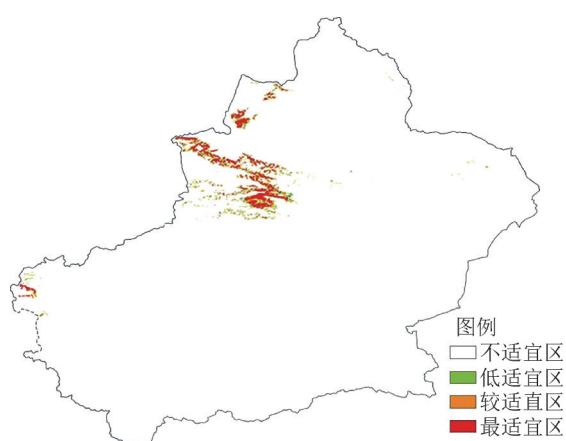
注：土壤类型和植被类型根据坐标点从中药资源空间信息网格数据库中获取。在数据库中，土壤类型和植被类型已用数字编码。

图2 新疆紫草主要生态因子响应曲线

3 新疆紫草产地生态适宜性分析

3.1 生态适宜性等级区划

利用 ArcGIS 软件对 MaxEnt 软件中 MaxEnt 模型计算结果进行叠加和地图制作,生态适宜性区划根据采样点处生境适宜度值,按正态分布参数 μ 、 σ 进行划分,以 $[0, \sigma]$ 为不适宜区、 $[\sigma, \mu - \sigma]$ 为低适宜区、 $[\mu - \sigma, \mu]$ 为较适宜区、 $[\mu, 1]$ 为最适宜区,绘制新疆紫草的生态适宜性区划分布图^[1](图3)。



注:审图号为新S(2022)011号。

图3 新疆紫草生态适宜性区划分布

3.2 MaxEnt模型预测精度评价

由 MaxEnt 模型运算显示,ROC 曲线平均训练集的曲线下面积(AUC)为0.998,表明该模型对新疆紫草在新疆潜在分布的预测效果较好,模型运算得出的新疆紫草生长区域适宜度有很高的可信度和准确度。

将采集的新疆紫草分布信息和下载的环境数据导入 MaxEnt 软件,设置运行参数,随机测试比例为15%,最大迭代次数为 1×10^6 ^[12]。自定义设置 ROC 曲线和刀切法检验权重,其他参数为默认值。采用 ROC 曲线进行模型精准度评价,取值为0~1,数值越接近1,说明该预测的结果越好^[14,19]。0.5<AUC≤0.6为失败,0.6<AUC≤0.7为较差,0.7<AUC≤0.8为一般,0.8<AUC≤0.9为好,0.9<AUC≤1.0为非常好^[11]。

3.3 生态适宜性分布区划

研究发现,新疆紫草主要集中分布于天山山脉,

最适宜区主要为和静县、尼勒克县、博乐市、温泉县、昭苏县等地;较适宜区为霍城县、精河县、伊宁县、伊宁市、托里县、裕民县、奎屯市、阿克陶县、巩留县、察布查尔锡伯自治县、乌恰县、和硕县、乌鲁木齐县等地;低适宜区为乌鲁木齐市达坂城区、塔城市、富蕴县、乌什县、哈密市、阜康市、吉木萨尔县、沙湾县、库车县、轮台县、疏附县、呼图壁县、玛纳斯县、阿图什市、青河县等地。其生态适宜区面积>500 km²的有和静县、尼勒克县和温泉县;生态适宜区面积为100~500 km²的有托里县、阿克陶县、博乐市、霍城县、裕民县、伊宁县、精河县、乌恰县、特克斯县、昭苏县、库车县;生态适宜区面积<100 km²的有拜城县、巩留县、轮台县、和布克赛尔蒙古自治县、察布查尔锡伯自治县、沙湾县、玛纳斯县、乌鲁木齐县、巴里坤哈萨克自治县、塔什库尔干塔吉克自治县、哈巴河县等地区。在新疆紫草生态适宜性区域进行大规模人工种植的难度较大,可供选择的区域少。

4 结论

MaxEnt 模型是基于生态位理论提出的物种地理尺度空间分布模型,可以直观真实地预测物种在不同时期的分布情况,对物种的保护和可持续开发利用具有重要意义^[20-21]。研究结果显示,新疆紫草最适宜区主要集中于天山山脉南北坡的和静县、昭苏县、温泉县等地,与参考文献[22-24]记载及实地考察结果相符。通过 MaxEnt 模型和地理信息系统(GIS)分析可以得出影响新疆紫草生长的主要生态因子及适宜值。结果显示,海拔和降水量对新疆紫草的影响作用最明显;在6月(即开花期初)适宜的降水有利于新疆紫草开花,而12月紫草地上部分枯萎,对水分需求量较少,大量的降水容易使土壤湿度过大,植株烂根死亡不利于新疆紫草的休眠。新疆紫草最宜生长在温度及降水适宜的高海拔地区,这与实地考察结果相符。

新疆紫草在天山山脉中段分布较集中,在昆仑山、巴尔鲁克山分布较少,这与其传统产区的地貌和气候密切相关。新疆紫草喜凉爽湿润气候,耐寒怕高温、怕涝,生长期温度过高或湿度过低会造成植株死亡,对水分和光照条件要求苛刻^[25]。因此,新疆紫草多生长于砾石山坡、洪积扇、草地及草甸等处^[22]。天山山脉位于欧亚大陆腹地,中段与伊犁

河谷相接壤,以昆仑山为天然屏障阻挡了北上的季风气流,而南下寒流汇聚于此形成降雨,气候湿润,四季不分明,夏季短、冬季漫长,气温低,为新疆紫草的生长提供了适宜环境,使其分布较为广泛。昆仑山脉地区多为温带荒漠和高山荒漠,平均海拔较高,几乎不受印度洋和太平洋季风气候影响,气候极端干燥,降水少,大部分地区不适合新疆紫草的生长。因而分布较少。虽然,巴尔鲁克山山峦起伏明显,多山地草原,降水丰富,适宜紫草生长,但实地考察发现,该地区新疆紫草多分布于山区,地形陡峭、耕地少,不利于规模化种植。此外,在托里县和额敏县未发现新疆紫草分布。因此,结合实地考察结果,建议在新疆紫草生长适宜的天山山脉中段,如伊犁州的昭苏县、尼勒克县等地建立人工栽培及药材加工基地,而在分布地域较偏远、资源蕴含量丰富的天山山脉中段南麓(如巴州的和静县等地)开展拟境栽培及野生抚育工作。

近年来,MaxEnt模型被广泛应用到中药材生产适宜性研究中,并取得很好的预测效果^[26-28]。但在实际使用该模型的时候,还受参数设置、先验分布的选择、样本量等因素影响^[28]。陈新美等^[29]研究表明,MaxEnt模型预测精准度随样本量增大而增加,最后趋于稳定,因此要提高模型预测结果的准确度,样本量需根据物种的不同进行适当选取。新疆紫草野生资源蕴含量较少,选择MaxEnt模型进行物种分布预测是提高预测精度的最佳选择。本研究在研究新疆紫草生态适宜性分布时,仅考虑气候、海拔等环境因子,而未考虑地形、人类活动、栽培技术等其他因素对新疆紫草生长的影响,可能使模型预测结果产生一定偏差。其次,生态因子的阈值选取也会使预测结果产生偏差,生态因子阈值范围越大,其物种潜在分布范围也可能会越广^[14]。文献报道,新疆紫草在日平均气温4℃即可发芽,最高温度超过30℃时植株开始死亡^[25]。然而,模型输出的生态因子适宜值显示,10月平均气温为-54~51℃,此结果与新疆紫草的生长习性和产区真实情况不符。产生这种结果的原因可能是:1)模型预测结果理论值>实际值;2)AUC反映的是系列阈值判别能力的综合值,模型在某一阈值的判别能力强并不表示在其他阈值的判别能力也一定强,因此,单个阈值可能会出现假阳性^[14]。但是,通过ROC曲线AUC参数评价,表明模型预

测结果具有较高的准确性。该方法能真实预测新疆紫草的分布状况,为新疆紫草的生产基地选址提供了参考。此外,生态因子是否对新疆紫草药材次生代谢产物的积累产生影响还需进一步研究。

参考文献

- [1] 陶弘景.本草经集注[M].北京:人民卫生出版社,1994:307.
- [2] 中华人民共和国卫生部药典委员会.中华人民共和国药典:一部[M].北京:人民卫生出版社,1964:112.
- [3] 钱雪,李海涛,曾万祥,等.紫草化学成分、药理作用及产品应用研究进展[J].中国野生植物资源,2021,40(3):52-56,69.
- [4] LU L, QIN A P, HUANG H B, et al. Shikonin extracted from medicinal Chinese herbs exerts anti-inflammatory effect via proteasome inhibition [J]. Eur J Pharmacol, 2011, 658(2/3): 242-247.
- [5] LIU Y B, ZHENG J Z, CHEN Y, et al. Shikonin protects against lipopolysaccharide-induced inflammation and apoptosis in human nucleus pulposus cells through the nuclear factor-kappa B pathway [J]. Food Sci Nutr, 2021, 9(10): 5583-5589.
- [6] 冯文文,谭勇,丁旭.新疆珍稀濒危药用植物紫草研究进展[J].现代中药研究与实践,2011,25(2):80-82.
- [7] 田佳鑫,高峰,詹志来,等.紫草药材品种变迁与药用资源分析[J].中国现代中药,2018,20(9):1064-1067.
- [8] 冯建菊.新疆紫草繁殖生态学研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.
- [9] 郭兰萍,周良云,康传志,等.药用植物适应环境胁迫的策略及道地药材“拟境栽培”[J].中国中药杂志,2020,45(9):1969-1974.
- [10] 章鹏飞,张虹,张小波,等.多花黄精生态适宜性区划研究[J].中国中药杂志,2020,45(13):3073-3078.
- [11] 马晓辉,卢有媛,黄得栋,等.中麻黄生态适宜性区划研究[J].中国中药杂志,2017,42(11):2068-2071.
- [12] 李曦光,王蕾,刘平,等.基于MaxEnt模型的新疆红枣生态适宜性与区划分析[J].新疆农业科学,2020,57(10):1785-1791.
- [13] 王莉,韦翡翠,成希,等.基于MaxEnt和ArcGIS的定西市蒙古黄芪适宜性区划研究[J].中国药房,2020,31(3):321-324.
- [14] 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):365-372.
- [15] 李昂.应用ArcGIS软件和最大熵模型分析樟子松潜在分布及其气候适宜性[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [16] 石子为,马聪吉,康传志,等.基于空间分析的昭通天麻生态适宜性区划研究[J].中国中药杂志,2016,41

- (17):3155-3163.
- [17] 柳鑫,杨艳芳,宋红萍,等. 基于MaxEnt和ArcGIS的黄连生长适宜性区划研究[J]. 中国中药杂志,2016,41(17):3186-3193.
- [18] 石明辉,王果平,李晓瑾,等. 基于TCMGIS-I的新疆紫草生态适宜性分析研究[J]. 新疆中医药,2010,28(3):36-38.
- [19] 郭兰萍,黄璐琦,吕冬梅,等. 基于3S技术的中药道地药材空间分析数据库的构建及应用[J]. 中国中药杂志,2007,32(17):1821-1824.
- [20] 张路. MAXENT最大熵模型在预测物种潜在分布范围方面的应用[J]. 生物学通报,2015,50(11):9-12.
- [21] 邢丁亮,郝占庆. 最大熵原理及其在生态学研究中的应用[J]. 生物多样性,2011,19(3):295-302.
- [22] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志:第64卷[M]. 北京:科学出版社,1978:64.
- [23] 徐国钧. 常用中药材品种整理和质量研究:第1册[M]. 福州:福建科学技术出版社,1994:169.
- [24] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划[M]. 北京:科学出版社,2014:354.
- [25] 李晓瑾,王国,贾晓光. 新疆紫草规范化生产标准操作规程[J]. 中药研究与信息,2005,7(4):31-33.
- [26] 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.
- [27] 胡秀,吴福川,郭微,等. 基于MaxEnt生态学模型的檀香在中国的潜在种植区预测[J]. 林业科学,2014,50(5):27-33.
- [28] 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]. 生态学杂志,2014,33(6):1623-1628.
- [29] 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.

(收稿日期:2021-11-24 编辑:戴玮)