

基于 MaxEnt 和 ArcGIS 的大头续断资源蕴藏量的估算研究

杜玖珍¹, 孙洪兵¹, 周诗淇², 周 毅^{1*}, 王红兰¹, 蒋舜媛¹, 冯成强^{3*}, 张 美¹, 周先建¹

1. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041

2. 四川大学, 四川 成都 610065

3. 北京师范大学, 北京 100000

摘 要: **目的** 对大头续断 *Dipsacus chinensis* 蕴藏量进行研究, 为中药资源量化提供新方法。**方法** 以全国大头续断的主要分布区的实地调研数据为依据, 分别利用 MaxEnt 模型和空间插值法建立大头续断物种密度栅格数据和单株生物量栅格数据, 借助 ArcGIS 空间分析功能对大头续断资源分布进行空间量化分析和评估。**结果** 全国大头续断野生资源适生区面积 $3.34 \times 10^5 \text{ km}^2$ 左右, 资源药材蕴藏量约 $3.08 \times 10^7 \text{ kg}$, 主要分布在横断山脉及青海高原东南部地区, 其中四川省大头续断资源蕴藏量约为全国的 69.48%, 尤以四川省的阿坝州境内资源蕴藏量高; 大头续断分布密度较高区段主要分布在四川省的阿坝州、甘孜州和凉山州境内, 此区域为大头续断的核心分布区, 并以此区域为中心向周围呈递减趋势; 单株生物量地理分布整体特征呈现以横断山脉的垂直面为分界面, 向两侧递增的趋势; 生物量与温度季节性变异系数、年均温变化范围和 4 月份降水量呈显著正相关, 与 12 月份均温、月均 (7、8 月) 降水量、季节降水量变异系数呈显著负相关。**结论** 该研究为大头续断新资源的开发及利用提供有力的数据支撑, 为中药资源可视化评估提供了新方法。

关键词: 中药资源; MaxEnt; ArcGIS; 大头续断; 蕴藏量

中图分类号: R282.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2018)17-4138-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.17.026

Estimation of reserves of wild *Dipsacus chinensis* based on MaxEnt and ArcGIS model

DU Jiu-zhen¹, SUN Hong-bing¹, ZHOU Shi-qi², ZHOU Yi¹, WANG Hong-lan¹, JIANG Shun-yuan¹, FENG Cheng-qiang³, ZHANG Mei¹, ZHOU Xian-jian¹

1. Sichuan Academy of Chinese Medicine Sciences, Chengdu 610041, China

2. Sichuan University, Chengdu 610065, China

3. Beijing Normal University, Beijing 100000, China

Abstract: Objective To study the estimating reserves of wild *Dipsacus chinensis* and provide a new method for the Chinese materia medica (CMM) resource quantitative evaluation. **Methods** The major contributing factors for ecological distribution of developing potentiality medicinal plants of *D. chinensis* were screened on the GIS platform by using the MaxEnt model, and raster data of species density and individual biomass of *D. chinensis* were generated by MaxEnt model and patial interpolation technology based on the field survey data. Spatial quantitative analysis and assessment of the distribution of resources of *D. chinensis* was performed by using ArcGIS. On this basis, a reserves assessment model was formatted for sustainable utilization of CMM resources evaluation. **Results** The analysis showed that the distribution area of *D. chinensis* was about $3.34 \times 10^5 \text{ km}^2$ which was mainly distributed in Hengduan Mountains and the Qinghai Plateau southeast area, and resources reserves was about $3.08 \times 10^7 \text{ kg}$. The results showed that more than 69.48% resources of *D. chinensis* was located in Sichuan Province, and the western Sichuan such as Aba, Ganzi, and Liangshan prefectures was the highly populated areas. According to that regional center into the surrounding showed a trend of decline, the overall characteristic of individual biomass geographic distribution showed an increased trend from the vertical plane of the Hengduan Mountains as interface to both sides. The results also indicated that seasonal temperature variation coefficient, annual average temperature range, and average rainfall in April were the dominant factors contributing to the underground biomass accumulation. While mean temperature in December, monthly average rainfall in July and August were negative correlated with the

收稿日期: 2018-02-06

基金项目: 环保部环境保护项目 (2111101); 四川省基本科研项目专项 (2017YSKY0015)

作者简介: 杜玖珍, 助理研究员, 主要从事中药资源及标准化研究。E-mail: dujiuzhen@126.com

*通信作者 周 毅, 副研究员, 主要从事中药资源与栽培研究。Tel: (028)87428339 E-mail: cdzhouyi@126.com

冯成强, 高级工程师, 主要从事中药资源研究。E-mail: fengchengqiang@sohu.com

underground biomass accumulation. **Conclusion** This study provides strong data support for the development and utilization of new resources of wild *D. chinensis*, and helps to establish a new way to the visual quantitative evaluation of CMM resources.

Key words: Chinese materia medica resources; MaxEnt; ArcGIS; *Dipsacus chinensis* Bat.; reserve

大头续断 *Dipsacus chinensis* Bat. 与川续断 *D. asper* Wall. 同属于川续断属球形序组, 是仅分布于川西、藏东南和滇西北的中国特有种, 二者的形态特征十分接近, 分类学上的差异仅在刺(毛)、头状花序的大小方面^[1]。第四次全国中药资源普查中发现, 在青藏高原横断山脉区域, 大头续断和川续断在分布区域上是重叠的, 其生境和群落类型高度一致, 即二者主要分布于四川、云南、西藏和青海等省区, 均生于海拔 2 800~4 000 m 的灌丛草地、林缘路旁、沟边或河滩地。在民间传统用药习惯中, 部分地区视大头续断与川续断两者功效等同, 皆可用于腰痛脚弱、跌扑损伤、崩漏、流产、遗精及金疮等症。在高原地区, 大头续断根一直被作续断药材收购, 甚至被作为续断药材在市场上流通和使用。现代化学成分研究表明^[2], 大头续断与川续断所含成分的类型相似, 川续断皂苷 VI 达到《中国药典》2015 年版的含量标准, 且资源分布范围较广, 资源蕴藏量较大, 具有开发成为续断药材新资源的潜力。

药用植物资源蕴藏量估算是规划中药资源可持续开发利用的重要依据, 但迄今未见有关大头续断资源蕴藏量方面的研究报道, 缺失资源数据的支撑, 对本资源的开发利用十分不利。郭静霞等^[3]系统总结了近 30 年来我国中药资源蕴藏量估算方法, 指出药用植物分布面积和单位面积蕴藏量的计算方法是直接影响药用植物蕴藏量的估算精度的 2 个主要因素。MaxEnt 是近几年来用于预测物种潜在分布区的统计模型^[4], 大量研究表明此模型预测结

果要优于同类预测模型, 特别是在物种分布数据不全的情况下, 仍然能得到较为理想的预测结果^[5-6]。因此本研究利用 MaxEnt 模型和空间插值法对大头续断的分布面积及单位面积蕴藏量进行空间建模, 借助 ArcGIS 强大空间数据处理功能对大头续断资源进行空间区域量化评价研究。本研究成果可为大头续断新资源的开发及利用提供强有力的数据支撑, 为中药资源蕴藏量可视化评估提供一个新方法。

1 数据来源

1.1 采样点相关数据

课题组于 2016 年 7 月~9 月期间持续对大头续断主要分布区域开展全面调查, 发现大头续断主要分布在青藏高原东南缘及横断山脉一带, 通过样点-套方的方式调查野生大头续断资源分布状况, 每个样点设定 1 个套方, 套方面积 10 m×10 m, 每个套方设定 5 个 2 m×2 m 的样方, 调查的主要内容包括野生资源的生态环境条件、群落主要植物组成、种群基本特征、植株生长状况、样地药材蕴藏量。采样点信息经由 GPS 实地定位获得, 采集过程中注意样点在生境和分布的代表性。各采样点原始记录信息见表 1。

1.2 生态因子数据

来源于“中药资源空间信息网格数据库”(http://www.tcm-resources.com/), 包含中药资源分布的生态因子数据, 含有气候、土壤、地形和植被类型的数据。

表 1 大头续断野生资源采样点位点信息

Table 1 Site descriptions of *D. chinensis* samples

编号	地点	海拔/m	纬度 (N)/°	经度 (E)/°	面积/(株·m ⁻²)	质量/(g·株 ⁻¹)
S1	四川省稻城县巨龙乡谷都村	3 539	28.853	100.378	2.2	66.68
S2	四川省红原县刷经寺镇原军区后山	3 334	32.010	102.621	1.0	76.90
S3	四川省康定县雅拉乡	3 052	30.253	101.884	2.4	94.50
S4	四川省马尔康县西所沟	3 000	31.814	102.278	5.4	46.00
S5	四川省茂县松坪沟乡岩窝村	2 802	32.180	103.506	5.7	65.48
S6	四川省松潘县元坝子村	2 991	32.749	103.612	2.2	52.52
S7	四川省松潘县金河坝村	3 025	32.872	103.654	2.6	174.94
S8	四川省小金县两河口乡大坂村	3 180	31.521	102.361	8.0	39.80
S9	四川省盐源县棉桠乡垭口	3 205	27.680	101.224	3.6	139.76
S10	四川省雅江县八角楼乡	2 944	30.072	101.169	2.2	31.88
S11	云南省玉龙县白沙镇玉湖村	2 757	27.026	100.223	0.8	89.40
S12	云南省香格里拉县大雪山	3 671	28.547	99.822	4.8	26.90

1.3 地图数据

下载于国家测绘地理信息局官方网站标准地图服务平台《中国地图(1:32000000)》[GS(2016)1580号]。

2 方法

2.1 大头续断资源分布面积估算

以调查区大头续断资源分布数据为基础数据,利用 MaxEnt 模型将 55 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,以筛选后的生态因子为变量,选取 MaxEnt 模型预测大头续断适生分布概率栅格数据,以此为大头续断空间分布特征信息进行大头续断资源分布面积计算;结合样方调查中的样方密度均值,利用 ArcGIS 中的栅格计算模块预测大头续断物种密度空间分布栅格数据。

2.2 大头续断单位面积内资源蕴藏量估算

利用 ArcGIS 中地统计模块,选取适宜空间插

值模型,以筛选出的生态因子为辅助数据,预测大头续断单植株生物量空间分布栅格数据;借助 ArcGIS 空间数据分析功能综合大头续断物种密度栅格数据和单植株生物量栅格数据,预测大头续断单位面积内资源蕴藏量栅格数据。

2.3 大头续断资源蕴藏量估算及空间格局分析

在 ArcGIS 平台中将大头续断单位面积内蕴藏量栅格数据集转换为点要素(针对输入栅格数据集的每个像元,都会在输出要素类中创建一个点,这些点将定位于它们所代表的像元的中心),见图 1。利用 ArcGIS 栅格计算器将转化为点要素的单位面积内资源蕴藏量栅格数据乘以单个象元面积后得到的栅格数据作为全国大头续断资源储藏量,通过统计属性表中蕴藏量字段值进行主产区大头续断资源总蕴藏量估算,根据调查产区各类植物群落的生境特征、面积和分布,分析大头续断资源储藏量的空间变化特征。

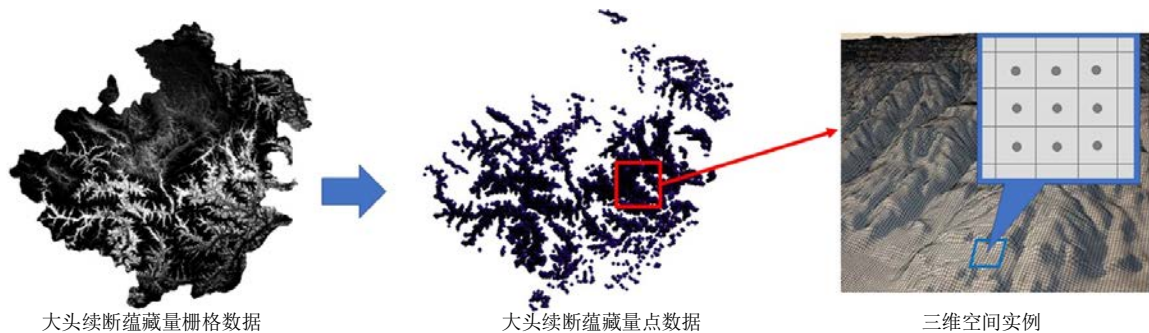


图 1 大头续断蕴藏量空间计算示意图

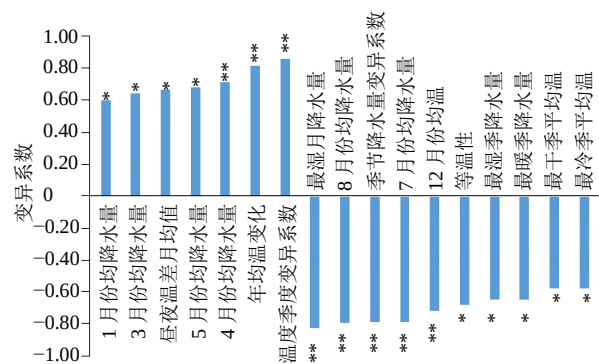
Fig. 1 Spatial calculation schematic map of reserves of *D. chinensis*

3 结果与分析

3.1 大头续断物种密度预测及空间分布特征分析

最后得到对大头续断资源分布影响较大的 17 个生态因子(图 2);选取上步筛选出的 17 个生态因子进行 MaxEnt 模型运算,模型创建后的训练样本的 AUC 为 0.998,测试样本的 AUC 为 1.00(图 3),表明模型诊断价值较高,能准确反映物种的潜在分布,因此选取本次模型运算结果参与大头续断分布适宜性分析。

选取本次 MaxEnt 预测的大头续断资源分布点云数据(point cloud 数据)作为其资源空间分布特征信息数据,利用 ArcGIS 进行分省面积统计,统计结果见表 2。大头续断野生资源主产区分布面积约为 $3.34 \times 10^5 \text{ km}^2$,四川省资源分布面积最广,约占总分布面积的 42.5%。最大熵统计模型获得的是所有满足约束条件的模型中信息熵极大的模型,作



*在 0.05 水平(双侧)上显著相关 **在 0.01 水平(双侧)上显著相关

*significant correlation at 0.05 level (bilateral) **significant correlation at 0.01 level (bilateral)

图 2 生态因子与根部生物量的 Spearman 相关性系数

Fig. 2 Spearman correlation coefficient between ecological factors and underground biomass

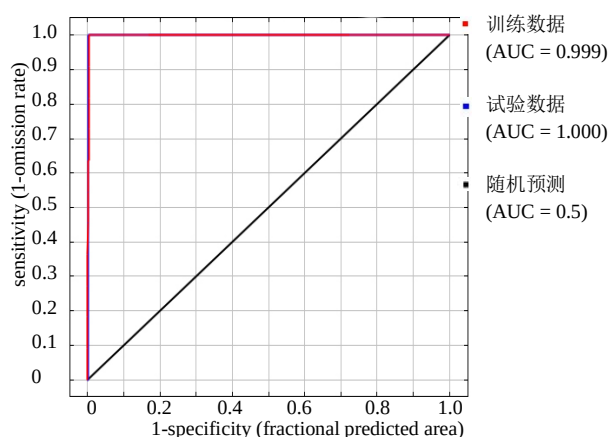


图 3 大头续断生境适宜性 AUC 响应图

Fig. 3 AUC for growth suitability of *D. chinensis*

为经典的分类模型时准确率较高，因此可以视大头续断分布适宜性数据为资源空间分布概率，结合大头续断的物种密度均值 0.077 进行空间栅格计算（相乘），得到大头续断物种密度网格数据（图 4-a）。大头续断在四川省阿坝州、甘孜州及凉山州境内的物种密度较高，并呈现出以此区域为中心向周围递减的趋势。

3.2 大头续断单株生物量预测及空间分布特征分析

采用 Spearman 系数分析这 17 个变量与根部药材生物量数据的相关性（图 2）。由图 2 可见，温度季节性变异系数、年均温变化范围、月降水量（1、3、4、5 月）、昼夜温差月均值与根部生物量成正相关，其中温度季节性变异系数、年均温变化范围和

表 2 各省大头续断资源储藏量统计

Table 2 Statistical results of reserves of *D. chinensis*

行政区	地级市	适宜面积/km ²	蕴藏量/kg	主要分布地
全国	—	3.34×10 ⁵	3.08×10 ⁷	四川省、云南省、甘肃省、西藏自治区、青海省、贵州省及陕西省等地
云南省	迪庆州	1.84×10 ⁴	0.17×10 ⁷	中甸县、德钦县、维西傈僳族自治县
	丽江市	1.84×10 ⁴	0.16×10 ⁷	玉龙纳西族自治县、宁蒗彝族自治县、华坪县、永胜县
	其他地区	1.38×10 ⁴	0.07×10 ⁷	昆明市、保山市、楚雄市、昭通市、曲靖市怒江傈僳族自治州
四川省	阿坝州	4.00×10 ⁴	0.78×10 ⁷	若尔盖县、汶川县、小金县、理县、金川县、茂县、马尔康县、黑水县、壤塘县、松潘县、红原县等
	甘孜州	4.90×10 ⁴	0.56×10 ⁷	甘孜县、炉霍县、白玉县、丹巴县、理塘县、康定县、雅江县、得荣县、稻城县等
	凉山州	4.70×10 ⁴	0.69×10 ⁷	甘洛县、木里藏族自治县、冕宁县、越西县、美姑县、盐源县、布拖县、普格县、德昌县等
	其他地区	0.60×10 ⁴	0.11×10 ⁷	绵阳市、雅安市、乐山市等
	昌都地区	3.23×10 ⁴	0.09×10 ⁷	八宿县、察雅县、左贡县、碧土县、贡觉县、盐井县、洛隆县、江达县等地
西藏自治区	林芝地区	5.86×10 ⁴	0.17×10 ⁷	察隅县、林芝县、米林县、墨脱县等
	山南地区	1.95×10 ⁴	0.04×10 ⁷	错那县、隆子县、琼结县等
	其他地区	0.26×10 ⁴	0.01×10 ⁷	日喀则地区、拉萨市等
	昌都地区	3.23×10 ⁴	0.09×10 ⁷	八宿县、察雅县、左贡县、碧土县、贡觉县、盐井县、洛隆县、江达县等地
甘肃省	甘南州	1.17×10 ⁴	0.04×10 ⁷	迭部县、舟曲县
	陇南市	1.17×10 ⁴	0.04×10 ⁷	宕昌县、武都县、文县

4 月份降水量与地下生物量间存在极显著正相关。即随着温度季节性变异系数和年均温变化范围的增大或 4 月份降水量的适度增加，越有利于大头续断中地下生物量的积累；最干季平均温、最冷季平均温、最暖季降水量、最湿季降水量、等温性、12 月份均温、月均降水量（7、8 月）、季节降水量变异系数和最湿月降水量与根部生物量呈负相关，其中 12 月份均温、月均降水量（7、8 月）、季节降水量变异系数和最湿月降水量与根部生物量为极显著负相关。即随着 12 月份均温的增高、月均降水量（7、8 月）的

适度增加、季节降水量变异系数的增大或最湿月降水量的适度增加，不利于根部生物量的积累。

以相关性较显著的温度季节变异系数、最湿月降水量以及年均温变化范围为辅助数据，选取克里金插值法进行大头续断单株生物量的空间插值分析，建立大头续断单株生物量栅格数据。由图 4-b 可以看出，大头续断资源地理分布整体特征呈现以横断山脉垂直面为分界面，向两边呈递增趋势。在四川省境内，大头续断资源单株生物量从东南到西北方向呈先减少，后增加的趋势；甘肃省境内，大

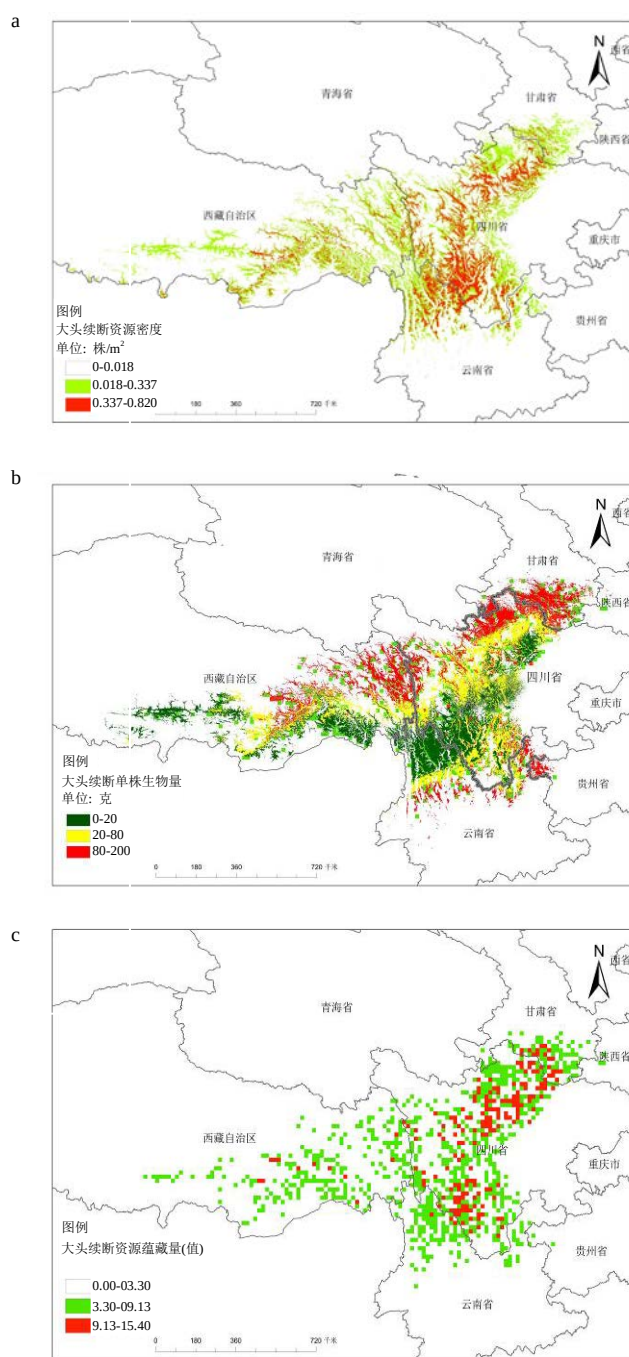


图 4 大头续断资源区划图

Fig. 4 Regionalization map of *D. chinensis*

头续断资源单株生物量较高；西藏藏族自治州大头续断单株生物量从北向南呈现递减趋势；云南省大头续断单株生物量由北向南则呈现递增的趋势。

3.3 大头续断资源蕴藏量预测及空间分布特征分析

将上述得到的大头续断资源密度栅格数据与单株生物量栅格数据借助 ArcGIS 栅格计算器进行空间相乘计算，得到每平方米内大头续断资源蕴藏量（图 4-c），从图 4-c 中可见，大头续断资源主要

蕴藏在四川省的阿坝州、甘孜州及凉山州境内，尤以阿坝州境内资源蕴藏量最大，西藏藏族自治州境内每平方米内大头续断资源蕴藏量普遍较低。利用 ArcGIS 中的空间分析功能，提取大头续断分布适宜性值在 0.38 以上的大头续断生长适宜性栅格数据，并转换为点要素，将每平方米内大头续断资源蕴藏量多值提取到转换后的点数据中，进行空间加和后，乘以单个像元面积（单个像元的面积为 0.65 km^2 ），便得到大头续断资源蕴藏量，通过空间相交处理，对大头续断资源蕴藏量进行分省统计，统计后的结果见表 2。全国大头续断总蕴藏量约 $3.08 \times 10^7 \text{ kg}$ ，主要分布在横断山脉及青海高原东南部地区，其中四川省资源蕴藏量约为全国的 69.48%。

4 讨论

药用植物分布面积估算方法主要是依据经验选取与药用植物资源分布有关的空间特征信息（如植被类型、土壤类型以及土地利用类型等生态因子）进行药用植物分布面积实地测量或空间估算^[3]。近几年来，3S 技术的引入使得空间特征信息的提取越来越简便和精确，药用植物蕴藏量的估算越来越准确^[7-8]。但在空间特征信息目标的选取上仍然是依据经验或实地调研数据汇总结果，主观性较强，不能较全面系统的概括药用植物的分布特征^[9]。随着中药材道地性研究的深入，人们逐渐意识到药用植物的分布适宜性并非单个生态因子或者简单几个生态因子的空间综合，而是多种生态因子或多个生态因子数据组的空间综合的评价^[10]，因此其分布面积的预测需要建立相应的预测模型。MaxEnt 是一种根据已知物种分布信息预测该物种潜在分布区域的模型，广泛应用于生物地理学、生物入侵以及生态位研究等领域^[11]。该模型采取一种可以最大程度满足约束未知分布信息的环境变量的运算方法，即“最大熵原则（The Maximum-entropy Principle）”，可以更多地保留物种已有分布数据的有用信息，预测物种对“立地环境”的空间适宜性。目前该模型被广泛应用于中药资源产地适宜性分析及评价，因此利用 MaxEnt 模型预测结果作为空间分布特征进行药用植物分布面积预测可以使药用植物蕴藏量的估算向客观化、精准化、区域化、可量化和高效化的方向发展。

目前对于木本植物、单株生长的灌木和大型或稀疏的草本药用植物单位面积资源蕴藏量估算常采用样株法^[3]，即先求出样地面积的平均株数及重

量,转换成每公顷单位面积产量。众所周知,药用植物生物量的积累及产地性状受“立地环境”的影响较大^[12],存在一定的时空差异性,如若单纯以实地踏勘数据的均值进行单位面积资源蕴藏量计算,难免会造成资源蕴藏量估算准确性差等问题。因此须通过空间加权“立地条件”,将有限的实地踏勘数据转换为连续的空间分布栅格数据,从而建立立体格局的药用植物资源蕴藏量空间模式。空间插值法用于将离散点测量数据转换为连续数据曲面,广泛用于区域气候^[13-14]、降水^[15]等变化趋势预测、农作物产量估计^[16]以及地球化学成分研究^[17]等领域,因此可用于进行药材生物量空间预测分析。同时也应注意,对于部分药材在野外采挖过程中很难保证地下部位的完整性,致使实际测定的生物量较实际偏低,且野生药材的生长年限未知,是否达到采挖年限等无从知晓,使得药材实际允收量很难估算。因此在后续研究中,需建立药用植物地上部分性状与地下部位生物量以及生长年限等关联模型,以提高资源蕴藏量估算的准确性。

全国大头续断野生实际分布面积 $3.34 \times 10^5 \text{ km}^2$ 左右,资源药材蕴藏量约 $3.08 \times 10^7 \text{ kg}$,资源量较为丰富。四川省阿坝州、甘孜州及凉山州境内大头续断的物种密度较高,并以此区域为中心向周围呈递减趋势。野生资源单株生物量地理分布整体特征呈现以横断山脉为分界面,向两边递增的趋势。大头续断和川续断在分布区域上有重叠,其生境和群落类型高度一致。同一样方内经常发现大头续断和川续断同时存在。这也进一步论证了大头续断和川续断具有相似的生态习性。基于上述调研结果,有必要进一步研究大头续断与续断的亲缘关系与种质资源研究,对比分析两者的差异,为其能否作为中药材续断的新资源提供科学的论证依据。

参考文献

- [1] 陈大霞. 川续断属药用植物亲缘关系研究与川续断种质资源的综合评价 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [2] 刘京晶. 续断生药学研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2011.
- [3] 郭静霞, 李旻辉, 白金牛, 等. 药用植物资源蕴藏量估算方法的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(9): 1654-1659.
- [4] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. *Ecol Model*, 2006, 190(3): 231-259.
- [5] 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(14): 365-372.
- [6] 孙文涛, 刘雅婷. 生物入侵风险分析的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(7): 233-236.
- [7] 刘金欣, 潘敏, 李耿, 等. 3S 技术在药用植物资源调查研究中的应用 [J]. 中草药, 2016, 47(4): 695-700.
- [8] 祝聪, 罗瑶, 董永波, 等. 基于 3S 技术的四川省独一味生长适宜区研究 [J]. 中草药, 2018, 49(6): 1405-1412.
- [9] 郑司浩. 中药道地性生物学机制研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2016.
- [10] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 277-280.
- [11] Hernandez P A, Graham C H, Master L L, et al. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods [J]. *Ecography*, 2006, 29(5): 773-785.
- [12] 孙晶, 杨洪一, 隋春. 不同因子对药用植物毛状根产量和次生代谢产物积累影响的研究进展 [J]. 中国现代中药, 2014, 16(11): 945-952.
- [13] 黄舸. 多种空间插值法在连续分布环境要素分析中的应用精度比较 [J]. 环保科技, 2012, 18(3): 35-37.
- [14] 张莉莉, 陶忠良, 张京红. 基于 GIS 海南岛气象要素空间插值法比较分析 [J]. 热带农业科学, 2012, 32(4): 57-61.
- [15] 秦伟良, 刘悦. 空间插值法在降水分布中的应用 [J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2010, 2(2): 162-165.
- [16] 李艳艳, 丰震, 赵兰勇, 等. 玫瑰花产量灰色分析、Kriging 插值及选择指数研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1429-1435.
- [17] 刘静, 蔡国学, 刘洪斌. 西南丘陵地区土壤有机质含量的空间插值法研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(3): 107-112.