

其单糖组成分析[J]. 中成药, 2021, 43(4): 1008-1011.

[12] 尹 艺, 王远红, 胡敬峰, 等. 仿刺参糖氨聚糖的特异性免疫调节作用的研究[J]. 中国海洋药物, 2015, 34(1): 53-58.

[13] 职爱民, 余 曼, 乔苗苗, 等. 免疫技术在动物源性食品快速检测中的研究进展[J]. 肉类研究, 2019, 33(5): 60-66.

[14] 胡雪琼, 吴红棉, 范秀萍, 等. 近江牡蛎糖胺聚糖的免疫

调节活性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 16-24.

[15] 杨 洁. 仿刺参 *Apostichopus japonicus* 糖胺聚糖的制备、结构分析和活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.

[16] 范秀萍, 王瑞芳, 吴红棉, 等. 菲律宾蛤仔糖胺聚糖 RG-1 的结构特征及免疫活性研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 186-190.

[17] 张 磊. 合浦珠母贝糖胺聚糖免疫调节活性机理及其制品开发[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.

基于 MaxEnt 和 GIS 技术的落新妇适宜性分布研究

卻丹华¹, 戴纯辉²
(1. 杭州市临安区中医院, 浙江 杭州 311300; 2. 杭州市上城区紫阳街道春江花月社区卫生服务站, 浙江 杭州 310008)

摘要: **目的** 通过对落新妇适宜分布的研究, 为落新妇的野生抚育、种植区划和规范化种植推广提供参考。**方法** 通过最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统 (GIS) 技术, 对影响落新妇生长的主要生态因子和适宜生境特征进行分析、探讨, 研究落新妇在全国适宜生长区域的划分。**结果** 最大熵模型具有良好的预测效果, AUC 值为 0.984。影响落新妇生长的主要因素为降水、气温和海拔。最适宜的月降雨量为 50~200 mm, 温度条件为-15~35 ℃。海拔 3 000 米以下的山谷、溪边、灌木和林缘草地较适合落新妇的生长。落新妇的潜在分布主要集中在中国东部、中部和东北部的部分地区, 陕西、湖南、贵州、四川、浙江、山西和辽宁等是主要的适生区。**结论** 本研究建立的模型分析结果与实际调查相符, 可为落新妇种植面积的规划提供参考。在人工栽培中, 应考虑气温和土壤湿度等因素, 并注意遮阴和排涝。
关键词: 落新妇; 生态因子; 最大熵模型; 地理信息系统; 适宜性
中图分类号: R284.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2022)11-3732-04
doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2022.11.061

落新妇 *Astilbe chinensis* (Maxim.) Franch. Et. Sav. 是虎耳草科落新妇属植物^[1-3]。落新妇具有活血散瘀、解毒止痛功效, 用于跌打损伤、风湿关节等疼痛症状的镇痛治疗^[4-6]。落新妇具有抗肿瘤、抗炎、镇痛、抑菌等作用^[7-8]。落新妇的野生资源有限, 在日益增长的市场需求下, 人工栽培成了落新妇药材的主要来源^[9]。目前关于其全国地理分布格局的研究报告罕见。因此, 了解落新妇资源的总体情况, 准确掌握落新妇生长的生态影响因素及生长适宜性分布区域, 对促进人工栽培落新妇具有重要意义。目前, 在物种的潜在分布、物种保护和资源储量估算研究方面, 应用最广泛的为最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统技术 (GIS) 的联合技术^[10-12]。在实地调查和文献检索的基础上, 运用 MaxEnt 模型和地理信息系统技术, 分析、探讨落新妇生长的生态因子和起源特征, 对落新妇在全国的生长适宜性分布区域进行预测及区划, 为落新妇的野生抚育、种植区划和规范化栽培推广提供参考。

1 材料
MaxEnt 3.4.4 生态位模型软件; ArcGIS 10.8 软件 (美

国 ESRI 公司)。从第四次中药资源普查实地调查、文献资料、中国植物图像库 (<http://ppbc.iplant.cn/>) 和国家植物标本资源库 (<http://www.cvh.ac.cn/>) 中收集落新妇相关信息共 1 320 份, 采用具有精确经纬度、明确地址和详细采集坐标的标本信息, 筛选整理获得 331 份标本信息用于落新妇适宜性分布研究^[13]。
根据已知的适合落新妇生长的环境条件, 选择 7 个生态因子进行研究, 包括生物气候、温度、降水、地形、土壤、土地利用类型和植被覆盖度。19 个生物气候因子、12 个月平均温度因子和 12 个月降水因子均来自世界气候数据库 (<http://www.worldclim.org/>)^[14]。地形包括海拔、坡度和坡向, 是从数字高程模型中提取的, 数据来自美国地质调查局。土壤、土地利用类型和植被覆盖数据分别取自世界土壤数据库 (<http://webarchive.iiasa.ac.at/>) 和世界地图数据库 (<https://globalmaps.github.io/>)。
2 方法
2.1 模型构建与运算 将采集的 331 个落新妇样品的地理信息和生态因子信息输入 MaxEnt, 并根据需要设置参

数^[15]。随机选择其中 75% 样本数据作为训练集，其余 25% 用于模型验证和测试，最大迭代次数设置为 1×10^6 ，其余为默认设置。多次运行程序，消除贡献率为 0 的生态因子，筛选出影响落新妇生长的生态因子，各生态因子贡献率用刀切法 (Jackknife) 定量^[16]，贡献率最大的用于二级最大熵模型计算。

2.2 模型精确性验证 模型计算结果的准确性采用 ROC 曲线 (受试者工作曲线) 进行评估和验证^[17]。

2.3 适宜性区域划分标准 把 MaxEnt 软件迭代运行得到的最终结果输入 ArcGIS 软件，将其转换为栅格数据，并从模型运算结果中提取落新妇在中国的适宜性分布区域^[18]。根据不同生态环境对落新妇生长的影响，确定各区域落新妇的生长适宜性指数，用 P 表示。在提取结果的属性表中计算得到最大值 (max)、最小值 (min)、平均值 (μ)、标准差 (σ)、平均值与标准差相加值 ($\mu+\sigma$)、平均值与标准差相减值 ($\mu-\sigma$)。按照正态分布理论与相关报道，将全国落新妇适宜性分布区域划分 3 个等级，不适宜区 [$P<(\mu-\sigma)$]; 次适宜区 [$(\mu-\sigma)\leq P<\mu$]; 适宜区 [$(\mu-\sigma)\leq P<(\mu+\sigma)$]。

3 结果

3.1 模型精度评价 ROC 曲线分析法检验得到的平均训练集精度，结果表明 AUC 值为 0.984，验证数据的 AUC 值为 0.984，均达到高预测精度，表明运算准确，结果可信，见图 1。

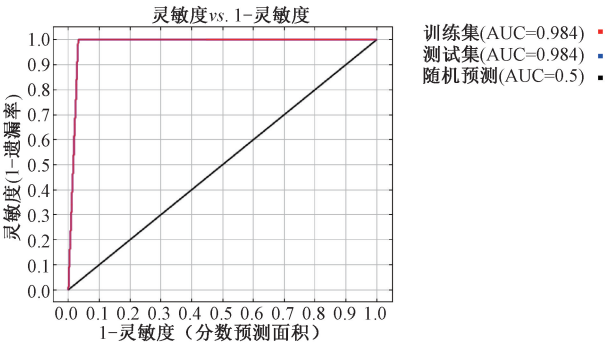


图 1 落新妇潜在分布预测 ROC 曲线

3.2 落新妇适宜生长条件分析 通过对主要生态因子贡献率和 ROC 曲线的分析 (图 2)，可以看出落新妇的生长主要受降水、温度和海拔的影响，而坡度的贡献率相对较低。落新妇在年降水量 500~2 000 mm 的地区可以生长。落新妇萌发后的快速生长期对土壤水分有一定的需求，月降水量至少应保持在 50 mm 以上，充足的水分可以促进根系的生长和发育。从开花期开始，月降雨量为 20 mm，但在开花期之后，如果遇到连续降雨，落新妇的根可能会被沤烂，影响落新妇的生长。因此，不适合在低洼和涝渍地区种植。温度对落新妇的生长也有一定的影响，可以在 -15.0~35.0℃ 的环境中存活和生长。

落新妇是一种耐寒、喜凉爽的植物，适合生长在海拔 3 000 m 以下的凉爽地区，对土壤质地要求不高。土地利用

类型和植被覆盖度对落新妇的生长也有轻微的影响，主要生长在山谷和草地、林缘、灌木和丘陵草甸。在人工栽培中，应考虑生长环境的温度和土壤湿度，并应注意土地的排水条件，选择一个有一定坡度的地方栽培。

3.3 主导环境因子权重分析 利用刀切法对环境因子进行分析，见图 3。其环境因子贡献值得分大小的顺序依次是 tmean10> bio12>bio18>prec11>prec9>prec8>bio13>bio7>tmean8>bio4。由于相关性较强的环境因子容易过度拟合，需要移除，移除后结果为 tmean10 (21.8%)、bio12 (17.9%)、bio18 (15.2%)、prec11 (15.0%)，这 4 个环境因子的总累积贡献率已达到 69.9%，说明最干季度平均温度、最干季度平均降水量、年均降水量、最暖季节降水量，这 4 个环境因子对最大落新妇适宜分布影响。

3.4 主要生态因子贡献率 利用 7 大类 55 个生态因子来研究落新妇的适宜性分布，不同因子对其有不同的影响程度。根据 Jackknife 定量计算结果，落新妇主要生态因子贡献率见表 1。影响落新妇生长的贡献率最大因子为 10 月平均温度 (15.4%)，其次为最暖季节降水量 (12.4%)，主要生态因子贡献率达到 93.5%。充足的降水是落新妇生长的必要条件，温度影响落新妇的生长，海拔也是限定落新妇生长区域的重要因素，但落新妇生长对土壤的要求不高。

表 1 生态因子贡献率 (%)

生态因子	贡献率	累计贡献率
10 月平均温度	15.4	15.4
最暖季节降水量	12.4	27.8
温暖指数	10.4	38.2
年平均降水量	9.5	47.7
11 月平均降水量	8.6	56.3
湿润指数	4.5	60.8
8 月平均降水量	4.4	65.2
海拔	4.1	69.3
最湿月降水量	3.5	72.8
坡度	3.4	76.2
粘土量	3.1	79.3
5 月平均降水量	2.4	81.7
年均温变化范围	2.3	84.0
4 月平均温度	2.1	86.1
寒冷指数	2.0	88.1
含沙量	1.8	89.9
土壤类型	1.5	91.4
9 月平均降水量	1.1	92.5
8 月平均温度	1.0	93.5

3.5 落新妇适宜性分布区划 依据 MaxEnt 和 ArcGIS 软件相结合技术，最终得到落新妇在中国的适生区域分布预测图 (图 3)，计算软件加载的各地各适生区面积 (表 2)。提取采样点生长适宜性指数，按照适宜性指数将分布区划分为 3 个区域：非适宜区、次适宜区和适宜区，其适生指数取值范围分别为 $P<0.157$ 、 $0.157\leq P<0.414$ 、 $P\geq 0.414$ 。落新妇在我国陕西、湖南、贵州大部分、四川东南部、河南北部、辽宁南部等部分地区具有潜在的高适生长性。

由表 2 可知，全国适宜落新妇生长的范围面积为 1 620 501.88 km²，主要分布在我国的东部、中部和东北部

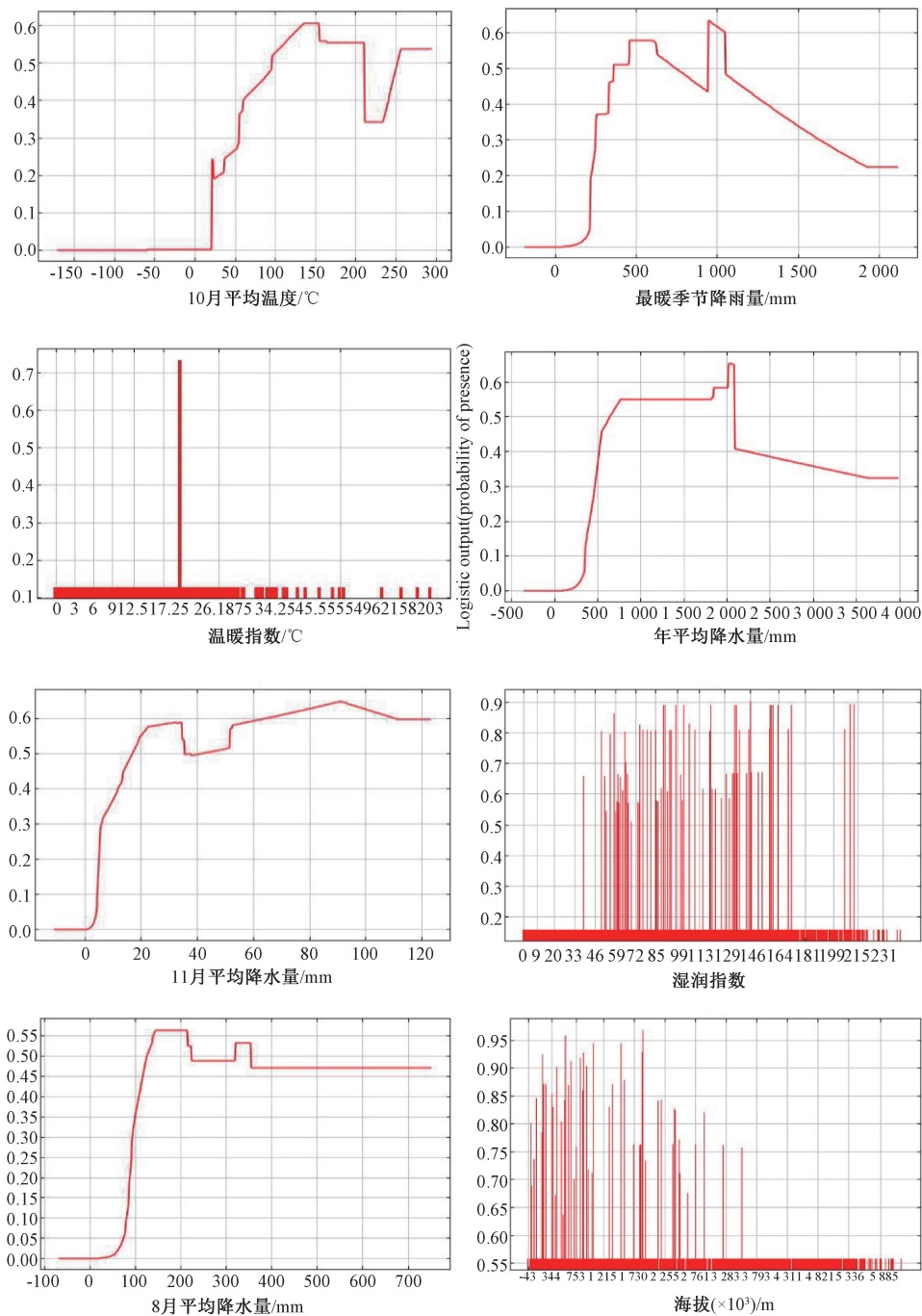


图 2 落新妇生态因子 ROC 曲线

地区。陕西、湖南、四川、贵州等省份大部分区域，以及浙江中北部、华中和华南等多个省份，黑龙江、吉林、辽宁东北三省也有一定范围的分布，其中 12 个省份的适生区面积在 10 000 km² 以上。

4 讨论

本研究结合 GIS 技术，运用 MaxEnt 模型研究落新妇在全国范围的适宜性分布，模型的 AUC 大于 0.9，可信度高。筛选出对模拟结果影响较大的 10 个生态因子，累积贡献率达 76.2%。落新妇适应环境能力较强，耐寒，适生于海拔 3 000 m 以下的山谷、灌丛间和林缘草地；对土壤质地要求

不高；适宜生长的月降水量为 50~200 mm；适宜的生长温度为-15.0~35.0℃。温度的变化会影响落新妇的物候期，尤其是发芽、叶片生长和随后的开花结果，大范围的温度变化会阻碍它的生长和发育，从 12 月到次年 1 月，落新妇的落叶进入休眠期，根茎从顶部长出芽鞘，低温会滞落后落新妇营养器官的分化和胚芽的形成，冬季高温可保证落新妇的安全越冬和芽分化。10 月份较高的平均降雨量保证了落新妇冬芽分化的安全性，这表明年降水量和最暖季降水量是影响落新妇分布的重要环境因子。从 8 月到 11 月，落新妇处于快速生长期，与其他月份相比降雨量相对较高，

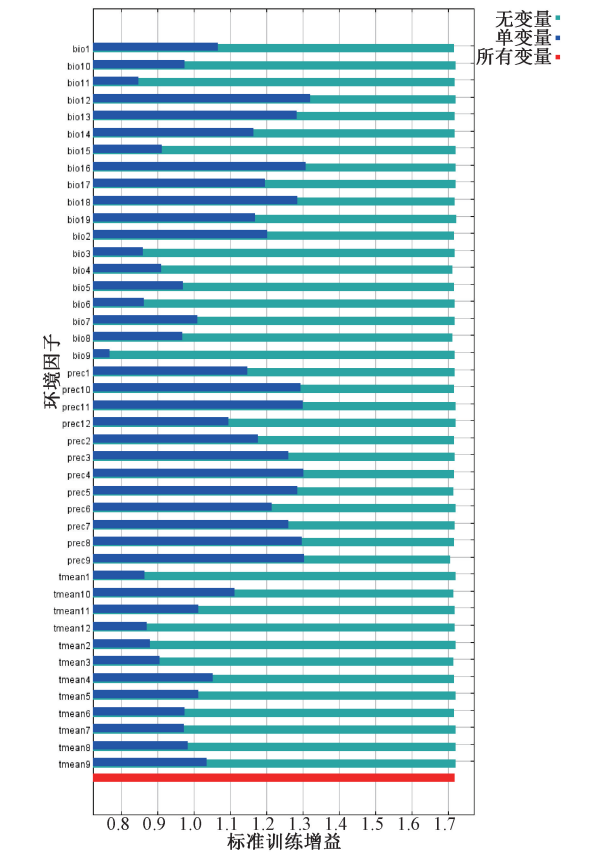


图 3 环境因子刀切法分析

表 2 落新妇适宜性区域面积统计 (km²)

省级行政区	适宜区面积	省级行政区	适宜区面积
四川	164 519. 61	广西	29 813. 31
陕西	164 138. 06	山东	25 108. 69
湖南	129 988. 14	云南	23 128. 93
贵州	119 065. 72	西藏	22 999. 07
山西	113 221. 08	广东	16 668. 57
湖北	108 966. 13	北京	14 629. 76
甘肃	101 229. 81	黑龙江	13 954. 86
河北	77 967. 00	宁夏	10 402. 22
河南	68 049. 63	内蒙	10 191. 56
吉林	66 812. 34	江苏	5 493. 38
重庆	65 394. 55	天津	4 535. 38
江西	65 369. 85	台湾	4 530. 20
辽宁	60 846. 67	青海	1 792. 57
浙江	59 267. 58	海南	556. 94
安徽	37 830. 49	上海	157. 56
福建	33 830. 87	新疆	41. 36

这直接影响其地下根茎的生长和植物的发育。因此落新妇主要集中在中国西南、中部和南部。年温差小，年降雨量大，最暖季节降雨量高，符合落新妇喜阴、寒、湿的特点。

根据模拟模型计算落新妇适宜性指数，按照适宜性指数将落新妇生长适宜性区域划分为非适宜区、次适宜区和适宜区 3 个等级。全国适宜落新妇生长的区域面积共计 1 620 501. 88 km²，主要集中分布于湖南、四川、陕西、贵

州、浙江等省。在核心区分布图中，预测结果显示以陕西为中心的周边具有较好的分布区域，主要为亚热带气候，具有春暖干燥、夏热多雨、秋凉湿润、冬寒干燥等特点，年平均气温为 14~16℃，年平均降水量为 300~1 200 mm。

参考文献:

[1] 吴征镒,秦仁昌,朱维明. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[2] 王永奇,付晓雪,宋明明,等. 落新妇苷及其异构体和同系物药源植物的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2014, 29(4): 463-466.

[3] 赵维良,郭增喜,戚雁飞. 浙江省中药炮制规范 2015 年版[M]. 北京: 中国医院科技出版社, 2016.

[4] 戴纯玉,戴纯辉. 落新妇药理作用及其应用研究综述[J]. 上海医药, 2021, 42(5): 69-72.

[5] 雷 冰. 落新妇化学成分及药理活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.

[6] Gil T Y, Jin B R, Hong C H, et al. *Astilbe Chinensis* ethanol extract suppresses inflammation in macrophages via NF-κB pathway[J]. *BMC Complement Med Ther*, 2020, 20(1): 302.

[7] 何 康,伍天苔,范琳琳,等. 大落新妇化学成分的研究[J]. 中成药, 2021, 43(1): 105-110.

[8] Wang J, Chen X, Zhou Z, et al. The inhibitory effect of 3β-Hydroxy-12-oleanen-27-oic acid on growth and motility of human hepatoma HepG2 cells through JNK and Akt signaling pathway[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 685159.

[9] 李 燕,崔莺文,辛建攀,等. 落新妇种子发芽条件初探[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(3): 91-95.

[10] 王晓娟,王光剑,马光良,等. 基于 GIS 和 MaxEnt 模型的合江方竹中国潜在分布区预测[J]. 世界竹藤通讯, 2019, 17(5): 9-15; 26.

[11] 姬柳婷. 4 种重楼属植物潜在适生区对气候变化的响应及主导气候因子分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.

[12] 刘振成. 生态因子对朝鲜淫羊藿生长发育及其药材质量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.

[13] Zhang Q, Wen J, Chang Z Q, et al. Evaluation and prediction of ecological suitability of medicinal plant American ginseng (*Panax Quinquefolius*) [J]. *Chin Herbal Med*, 2018, 1(10): 80-85.

[14] 王 哲,李 波,姜大成,等. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 技术的吉林省蝙蝠葛适生区划及主导环境因子研究[J]. 中药材, 2018, 41(2): 308-312.

[15] 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.

[16] 魏玉蓉. 濒危民族药新疆阿魏分布的环境需求及适生区研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.

[17] 丁 新. 基于 MAXENT 对新疆卡拉麦里山自然保护区鹅喉羚生境适宜性评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.

[18] 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): 59-65.