

基于 MaxEnt 和 ArcGIS 预测合欢 潜在分布及适宜性评价

陈铁柱¹, 刘建辉², 周先建¹, 张 美¹, 辜 彬³, 廖述吉²

(1. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041; 2. 四川兴立园林环境工程有限公司, 四川 成都 610041;
3. 四川大学 生命科学院, 四川 成都 610041)

摘 要:应用最大熵模型 MaxEnt 和地理信息系统 ArcGIS, 预测了合欢在我国的潜在适生区及其适生等级, 为明确合欢在中国的潜在分布区和适宜性, 及开展合欢种植区划和规范化栽培提供指导。结果表明:合欢潜在分布区主要位于华中、华南、华东和西南部分地区, 主要适生省份为贵州、广西、广东、湖南、湖北、福建、江西、浙江、安徽(适生指数 >0.7);刀切法测试表明, 最暖季降水量(模拟贡献率 26.3%)、7 月降雨量(25.2%)、年均温(13.5%)、最干季平均温(11.6%)、1 月平均气温(10.8%)是影响合欢潜在分布的最主要 5 个环境因子。合欢最适生长地区主要集中在华中、华东 2 个地区。

关键词:合欢;最大熵模型;地理信息系统;潜在分布;适宜性评价

中图分类号:S 685.99 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)16-0191-05

合欢(*Albizia julibrissin* Durazz.) 属豆科含羞草亚科合欢属^[1], 是我国目前园林绿化美化建设中应用较广泛的树种, 其树皮和花均可入药, 具有解郁安神、活血消肿的功效。合欢能适应多种气候条件^[2], 亚热带和热带均有分布, 地理变异大, 主要分布在黄河、长江和珠江流域, 多生长于海拔 400~700 m 的平坝、山谷或山坡中。合欢

属落叶乔木, 喜光, 喜生于温暖湿润和阳光充足的环境, 耐旱性较强, 不耐涝, 有一定的抗寒性。随着合欢的用途逐渐被开发, 导致野生资源越来越少, 存在资源锐减、濒临灭绝、人工栽培规模小等诸多问题, 对其全国范围内地理分布格局的研究尚鲜见报道。近年来, MaxEnt 模型和 ArcGIS 相结合技术广泛应用于物种的潜在分布^[3-5], 且预测的结果精确度更高^[6]。该研究在前期合欢实地调查和文献资料整理的基础上, 应用 MaxEnt 模型和 ArcGIS 技术, 对合欢进行潜在分布及适宜性评价, 以期开展合欢野生抚育、种植区划和规范化栽培提供指导。

1 材料与方法

1.1 数据收集

合欢的标本信息主要来源于实地调查、文献资料、中国数字植物标本馆和中国自然标本馆, 共收集到 145 份, 对具有精确经纬度的标本信息直接使用, 去除经纬度重复和信息缺失的标本, 最终

第一作者简介:陈铁柱(1983-), 男, 吉林长春人, 博士, 副研究员, 现主要从事药用植物栽培与育种及中药资源与品质评价等研究工作。E-mail:945734@qq.com.

责任作者:刘建辉(1982-), 男, 四川成都人, 硕士, 高级工程师, 现主要从事风景园林与药用植物栽培等研究工作。E-mail:36152339@qq.com.

基金项目:四川省科技厅科技创新苗子工程资助项目(2017RZ0051); 四川省科技厅科技扶贫资助项目(2016NFP0073); 中央本级重大增减支资助项目(2060302); 四川省科技厅应用基础研究资助项目(2016JY0081); 四川省公益性科研院所基本科研业务专项资助项目(2016YSKY0084)。

收稿日期:2017-03-30

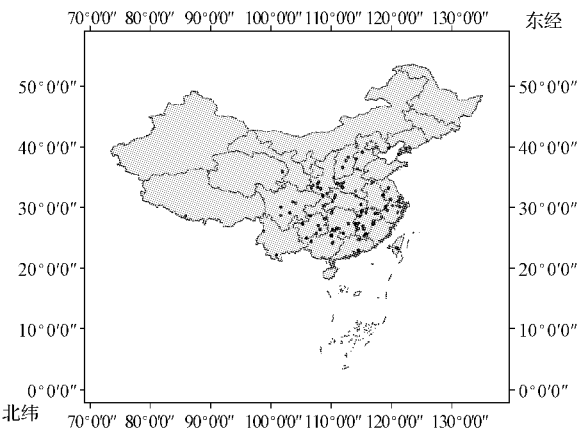


图1 合欢标本分布点
Fig. 1 Specimen occurrence records of *A. julibrissin*

表 1 影响合欢在中国分布的潜在环境因子					
Table 1 Potential environmental factors affecting the distribution of <i>A. julibrissin</i> in China					
环境变量	解释	环境变量	解释	环境变量	解释
Environmental variable	Description	Environmental variable	Description	Environmental variable	Description
alt	海拔	bio_10	最暖季度平均温	tmax_1	1月最高温
bio_1	年均温	bio_11	最冷季度平均温	tmax_7	7月最高温
bio_2	夜温差日均值	bio_12	年均降水量	tmin_1	1月最低温
bio_3	等温性	bio_13	最湿月降水量	tmin_7	7月最低温
bio_4	温度季节性变化的标准差	bio_14	最干月降水量	tmean_1	1月平均温
bio_5	最暖月最高温	bio_15	降水量变异系数	tmean_7	7月平均温
bio_6	最冷月最低温	bio_16	最干季度降水量	prec_1	1月平均降水量
bio_7	年温度变化范围	bio_17	最湿季降水量	prec_7	7月平均降水量
bio_8	最湿季度平均温	bio_18	最暖季度降水量		
bio_9	最干季度平均温	bio_19	最冷季度降水量		

1.4 数据分析

采用 MaxEnt Version 3.3.3k 和 ArcGIS 10.2.2 软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 精度检验

应用 ROC 曲线分析法精度检验得到的平均训练集 AUC 值为 0.987(图 2),表明 MaxEnt 模型对合欢中国潜在分布区的预测效果非常好^[7]。

2.2 合欢在中国的潜在分布区及其适生区等级划分

依据 MaxEnt 和 ArcGIS 软件相结合技术,最终得到合欢在中国的潜在分布图(图 3),并依据 ArcGIS 软件加载的中国 32 省、自治区、直辖市地图的各地各适生区的单元格,计算适生区面积(表 2)。并将合欢适宜性综合评价等级划分为

整理获得 107 份标本信息(图 1)。

1.2 环境因子

环境因子数据来源于世界气候数据库,取自该数据库的 28 个环境变量,见表 1。

1.3 试验方法

数据的格式转换和导入、模型的建立与预测进度分析、主导环境因子的筛选、适生区的等级划分和适生面积的统计的方法,按照文献记载的方法操作^[3-5]。其中 MaxEnt 模型中训练集设定为 75%(80 处分布点),测试集设定为 25%(27 处分布点),通过刀切法来测试各变量对模型的重要性,应用 ROC 曲线(受试者工作特征曲线)对进行预测结果精度检验^[6]。

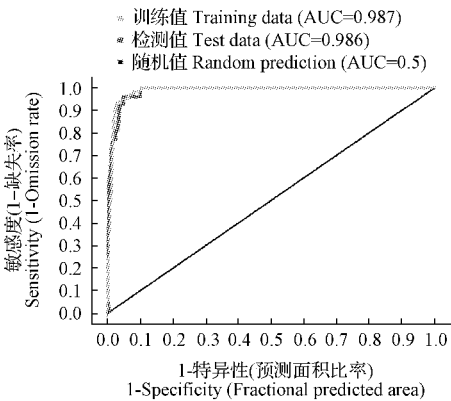


图2 合欢潜在分布预测 ROC 曲线
Fig. 2 ROC curve of potential distribution prediction of *A. julibrissin*

5 个区域:非适生区、边缘适生区、较适生区、高适生区和最适生区,其适生指数取值范围分别为: $P<0.2,0.2\leq P<0.4,0.4\leq P<0.6,0.6\leq P<$

表 2 中国 32 省、自治区、直辖市各级合欢适生区面积

Table 2 Suitable area at all levels for *A. julibrissin* in 32 provinces, autonomous regions and municipalities of China

地区 Region	非适生区 Unsuitable area/km ²	边缘适生区 Marginal suitable area/km ²	较适生区 Suitable area/km ²	高适生区 High suitable area/km ²	最适生区 Highly suitable area/km ²	占省份面积比例 Percentage of the province/%
四川	143 018.53	139 127.34	45 860.43	127 349.55	0.00	0.00
云南	108 119.44	199 770.81	32 241.27	2 901.02	0.00	0.00
贵州	642.74	3 665.36	28 784.37	125 160.76	1 702.39	1.06
广西	66 949.28	80 168.89	13 914.47	42 994.15	5 333.01	2.55
广东	83 226.26	46 103.63	5 333.01	14 609.33	5 541.47	3.58
湖南	0.00	0.00	885.94	63 092.83	130 059.48	67.03
湖北	156.34	8 668.32	16 120.64	111 454.74	39 155.08	22.30
重庆	0.00	1 233.37	7 539.18	68460.59	0.00	0.00
陕西	88 663.50	64 308.83	23 937.75	26 925.63	0.00	0.00
福建	15 842.69	7 782.38	14 140.30	59 913.87	11 517.22	10.55
江西	1 354.97	2 866.28	8 095.06	50 533.33	90 001.09	58.88
浙江	0.00	34.74	8 998.37	52 062.01	31 789.62	34.22
安徽	0.00	555.88	13 254.36	93 927.02	26 126.55	19.51
西藏	1 084 477.56	52 774.24	6 809.58	0.00	0.00	0.00
青海	714 102.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
甘肃	396 397.40	16 554.92	1 372.34	1 024.91	0.00	0.00
宁夏	52 791.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
内蒙古	1 291 057.95	1 059.65	0.00	0.00	0.00	0.00
新疆	1 757 045.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
江苏	0.00	243.20	20 515.59	76 156.11	0.00	0.00
河北	74 384.23	45 530.37	34 308.47	41 257.02	0.00	0.00
河南	0.00	14 922.01	19 282.23	127 088.98	0.00	0.00
山东	0.00	8 129.80	67 001.39	78 813.93	0.00	0.00
山西	91 807.72	47 198.03	19 212.74	1 615.54	0.00	0.00
北京	1 077.03	6 114.72	10 040.65	17.37	0.00	0.00
天津	0.00	712.23	9 502.14	1 910.85	0.00	0.00
上海	0.00	34.74	3 491.65	1 320.22	0.00	0.00
辽宁	90 279.03	62 589.06	3 387.42	0.00	0.00	0.00
吉林	213 112.03	52.11	0.00	0.00	0.00	0.00
黑龙江	544 627.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
台湾	28 211.11	2 657.82	503.77	277.94	0.00	0.00
海南	29 062.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

0.7, $P \geq 0.7$ 。表明合欢潜在最适生区主要集中在华北、华中、华南和西南部分地区,主要为河北(南部),山东(西北、西南部分),河南大部分,安徽(除东南部),江苏(除南、中北部外的其他地区),浙江(西南、西北、北部、中东),湖北(除东南部),福建(中西、北部、东北),四川(成都平原以东地区),贵州和重庆大部分地区;湖南(南部),江西(中部、东部)等地也存在少量的最适生区。

2.3 合欢最适生区分布

由于合欢生长受到温度、光照、水分等环境因子限制,故将合欢最适生区看作其主要适生区。该区域主要包括湖南(130 059 km²)、湖北(39 155 km²)、福建(11 517 km²)、江西(90 001 km²)、浙江(31 789 km²)、安徽

(26 126 km²)。同《中国植物志》记载的合欢主要分布产地基本一致^[8],湖南省是记载的传统道地省份(我国东北至华南及西南部各省区),面积最大的潜在最适种植省。

从图 3 可以看出,合欢主要适生区集中于湖南省(除永州和郴州)以外的地区,占湖南省总面积的 67.03%;湖北省东南(荆州、咸宁、黄石)部分地区有分布;福建省西北部的南平市浦城县、武夷山市、光泽县、邵武市均有分布;江西省除了东北部地区(吉安、南昌、上饶、鹰潭市)外均有分布;浙江省中西部(杭州、衢州)、中部(金华)西南(丽水地区)和东南(温州地区)的部分地区有分布;安徽省西南(池州、安庆地区)、南部(黄山地区)、东南(宣城)部分地区有分布。

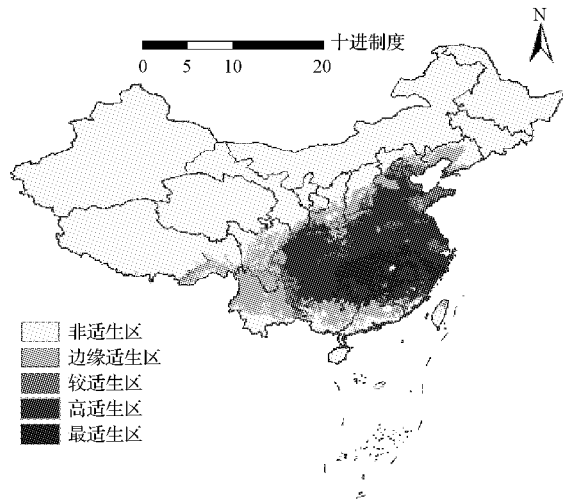


图3 中国合欢潜在分布

Fig. 3 Potential distribution of *A. julibrissin* in China

2.4 主导环境因子权重分析

利用刀切法对环境因子进行分析,其结果见图4,其环境因子贡献值得分大小的顺序依次是: $tmax_1 > tmean_1 > bio_9 > bio_18 > prec_7 > bio_11 > tmin_1 > bio_1 > bio_6 > bio_3 > bio_13 > bio_16$ 。

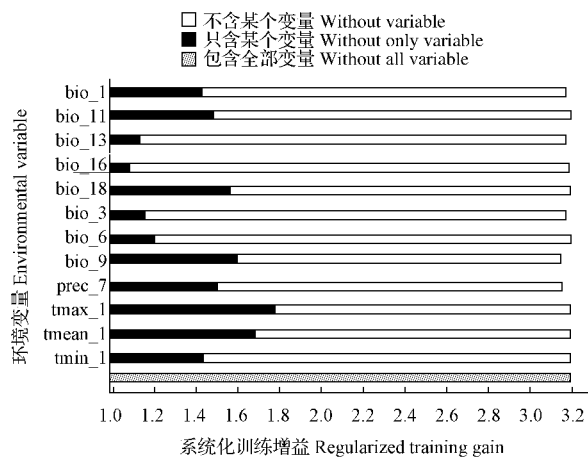


图4 合欢预测结果

Fig. 4 Result of prediction process of *A. julibrissin*

由于相关性较强的环境因子容易导致过度拟合,因此需要移除。对具有相似影响的环境因子移除后的结果表明,贡献率分别为 bio_18 (26.3%)、 $prec_7$ (25.2%)、 bio_1 (13.5%), bio_9 (11.6%), $tmean_1$ (10.8%), 这5个环境因子的

贡献率均大于10% (表3),其贡献率已达到87.4%。说明最暖季降水量、7月降雨量、年均温、最干季平均温、1月平均气温这5个环境因子是影响合欢适宜分布最大的环境因子。

表3 最大熵模型各环境变量的贡献

Table 3 Permutation importance of each environmental variable in Maxent modeling

变量 Variable	解释 Description	贡献率 Permutation importance/%
bio_18	最暖季度降水量	26.3
prec_7	7月平均降水量	25.2
bio_1	年均温	13.5
bio_9	最干季度平均温	11.6
tmean_1	1月平均温	10.8
tmax_1	1月最高温	7.2
bio_3	等温性	2.7
tmin_1	1月最低温	1.9
bio_13	最湿月降水量	0.4
bio_16	最干季度降水量	0.2
bio_11	最冷季度平均温	0.0
bio_6	最冷月最低温	0.0

3 讨论

3.1 合欢的潜在分布区

合欢的潜在适生区主要集中在:湖南省的北部、西部、东部、中部,湖北省东南部,福建省西北部,江西省南部、东部、西北部;浙江省西南部、中部、中西部、东南部分地区;安徽省南部、西南部、东南部分地区。同《中国植物志》记载的合欢主要分布产地基本一致,湖南省是记载的传统道地省份(我国东北至华南及西南部各省区),面积最大的潜在最适种植省份。在核心区分布图中,预测结果显示湖南省除南部以外的地区均有分布,湖南省南部为湘江流域、南岭山脉,气温较高,降雨量相对湖南省其他地区较多,易涝,而合欢怕水涝和阴湿积水,不适合其生长,因此湖南省南部非合欢的最适生区,正如地图上显示的结果。预测的结果与湖南省合欢标本信息的记录一致。

3.2 影响合欢分布和适生性的关键因子

生态因子权重分析结果显示, bio_18 (最暖季降水量)、 $prec_7$ (7月降雨量)、 bio_1 (年均温)、 bio_9 (最干季平均温)、 $tmean_1$ (1月平均气温),这5个环境因子是主要影响合欢适宜分布最大的环境因子。在我国的大部分地区,合欢3月开始

出芽,6月开花,7月快速生长,9月结果,然后陆续在秋末冬初落叶。该研究得出的影响合欢潜在分布的环境因子的重要性与合欢的实际生长发育规律一致。温度的变化会影响合欢物候期,特别是影响发芽抽叶和后续的开化结果,温度变化范围较大阻碍其生长发育。从12月至翌年1月,合欢落叶进入休眠期,温度过低会阻碍合欢营养器官的分化及芽的形成,tmean_1较高,保证了合欢安全过冬和发芽分化。7月合欢处于快速生长期,该月降雨量相对其它月份较高,其多少将制约合欢的植株生长,充分说明了bio_18和prec_7含有影响合欢分布的重要信息。合欢集中分布在中国的华中、华东地区,气候受到青藏高原和西南季风的影响,最暖季降雨量少,年温差小,7月降雨量不大,最干季温度高,1月平均气温高,符合了合欢喜温、好湿润、耐旱、不耐涝的特点,因此最适生地区主要出现在华中、华东2个大区。

参考文献

- [1] 中国药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. I部. 北京:化学工业出版社,2015:163.
- [2] 赵永浩,李超飞,郭军军,等. 合欢树的综合应用价值分析[J]. 陕西农业科学,2012,58(6):77-78.
- [3] 王娟娟,曹博,白成科,等. 基于Maxent和ArcGIS预测川贝母潜在分布及适宜性评价[J]. 植物研究,2014,34(5):642-649.
- [4] 龚晔,景鹏飞,魏宇昆,等. 中国珍稀药用植物白及的潜在分布与其气候特征[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(2):237-244.
- [5] 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,2014,31(6):1623-1628.
- [6] PHILLIPS S J, DUDÍK M. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation[J]. Ecography,2008,31(2):161-175.
- [7] 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.
- [8] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 39卷. 北京:科学出版社,1988:65.

Potential Distribution Prediction and Suitability Evaluation of *Albizia julibrissin* Durazz. Based on MaxEnt and ArcGIS

CHEN Tiezhu¹, LIU Jianhui², ZHOU Xianjian¹, ZHANG Mei¹, GU Bin³, LIAO Shuji²

(1. Sichuan Academy of Traditional Chinese Medicine Sciences, Chengdu, Sichuan 610041; 2. Sichuan Xingli Garden Environmental Engineering Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610041; 3. College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041)

Abstract: The potential distribution prediction and suitability evaluation of *Albizia julibrissin* Durazz. were conducted which based on MaxEnt and ArcGIS, in order to grasp the potential distribution and suitability, to provide valuable references for the plantation regionalization, and the standard cultivation of *A. julibrissin*. The results indicated that the model revealed that the potential distribution areas were mainly in parts of central China, eastern China, south China and southwest China. Within these areas, Guizhou, Guangxi, Guangdong, Hunan, Hubei, Fujian, Jiangxi, Zhejiang, Anhui were determined as the largest highly potential distribution areas (suitability index > 0.7); a jackknife tested in MaxEnt suggested that was precipitation of the warmest quarter (contribution percent, 26.3%), precipitation of July (25.2%), annual mean temperature (13.5%), mean temperature of the driest quarter (11.6%), mean temperature of January (10.8%) were the main influential environmental factors that affecting the distribution of *A. julibrissin*. The potential distribution areas of *A. julibrissin* were mainly concentrated in central China and eastern China.

Keywords: *Albizia julibrissin* Durazz.; MaxEnt; ArcGIS; potential distribution; suitability evaluation