

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2013.03.005

基于 MaxEnt 的人侵植物刺轴含羞草的 适生分布区预测

岳茂峰, 冯 莉, 田兴山*, 杨彩宏

广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广东 广州 510640

摘要:【背景】刺轴含羞草是世界危害最严重的 100 种入侵生物之一,因此明确刺轴含羞草在全球以及中国的潜在分布对有效预防和控制其蔓延具有重要意义。【方法】本研究利用 MaxEnt 生态位模型对刺轴含羞草在全球以及中国潜在分布区进行预测。【结果】结果表明,刺轴含羞草适生区分布在全球南北纬 30 度以内的热带和亚热带地区。其中,中南美洲、非洲中部、东南亚以及大洋洲北部为刺轴含羞草中、高度适生区的集中分布区。中国处于刺轴含羞草适生区的边缘。刺轴含羞草在中国的适生区主要分布在云南、海南、广东西南部以及台湾地区。在温室气体 A1B 排放模式下,到 2050 年,刺轴含羞草在全球适生区面积与当前相似,但在中国的适生区略有减少。【结论与意义】刺轴含羞草有入侵我国大陆的风险,检疫部门应对刺轴含羞草进行检疫,防止其入侵。

关键词: MaxEnt; 刺轴含羞草; 潜在分布区; 预测

MaxEnt-based prediction of potential distribution areas of *Mimosa pigra* L.

Mao-feng YUE, Li FENG, Xing-shan TIAN*, Cai-hong YANG

Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Institute of Plant Protection,
Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China

Abstract: 【Background】*Mimosa pigra* L. is one of 100 worst invasive alien species in the world. It is very meaningful to clear-therefore important to determine the potential distribution of *M. pigra* in the world and especially in China in order to predict and effectively control its spread. 【Method】MaxEnt niche model was used to predict the potential distribution of *M. pigra* in China then the world. 【Result】The results showed *M. pigra* was mainly distributed between 30°N and 30°S in the tropical and subtropical regions with suitable and highly suitable areas in Central and South America, Central Africa, Southeast Asia, and North Australia. Southern China was at the edge of suitable areas of *M. pigra* with potential suitable areas in provinces of Yunnan, Hainan, Guangdong, and Taiwan in China. Considering the greenhouse gas emission A1b scenario, by 2050, it is predicted that the distribution of *M. pigra* would not change significantly in the world, but may be reduced in China. 【Conclusion and significance】*M. pigra* has the risk to invasive mainland China and should be quarantined to prevent its invasion.

Key words: MaxEnt; *Mimosa pigra*; potential distribution area; prediction

刺轴含羞草 *Mimosa pigra* L., 属含羞草科 Mimosaceae 含羞草属 *Mimosa*, 是一种多刺的多年生草本或亚灌木,该草原产于热带美洲的墨西哥到阿根廷一带 (Barneby, 1991; Croat, 1978; Janzen, 1983), 目前已成为世界上危害最严重的 100 种入侵生物之一 (Lowe *et al.*, 2000), 广泛分布于热带和亚热带地区 (Cronk *et al.*, 1995; Holm *et al.*, 1979; Lonsdale,

1992; Lonsdale *et al.*, 1995)。刺轴含羞草常发生在洪泛区和季节性湿地周围 (Heard *et al.*, 2012), 形成致密单一的灌丛 (Lonsdale, 1992), 阻塞水流, 形成淤泥阻塞, 影响农田灌溉 (Praneetvatakul, 2001), 明显改变自然景观和生物多样性 (Braithwaite *et al.*, 1989; Shanungu, 2009)。在东南亚地区, 刺轴含羞草侵占了湄公河三角洲的大片地区, 威胁到当

收稿日期 (Received): 2013-07-05 接受日期 (Accepted): 2013-08-09
基金项目: 国际合作与交流项目 (20011DFB30040); 广州市科技计划项目 (2013J4500032)
作者简介: 岳茂峰, 男, 助理研究员。研究方向: 外来入侵植物生理生态与防控技术
* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: xstian@tom.com

地动植物生存 (Triet *et al.*, 2004)。在我国,刺轴含羞草已经入侵台湾地区 (Chen *et al.*, 2006),曾宪锋等 (2013) 于 2012 年在海南地区发现刺轴含羞草。

最大熵模型 (Maximum entropy model, MaxEnt) 通过物种的已知样本分布数据和环境数据找出物种概率分布的最大熵,从而对物种的分布进行估计和预测。该软件于 2006 年创建并发布 (Phillips *et al.*, 2006),自推出之后,由于表现出良好的准确性而受到广泛应用 (Elith *et al.*, 2006)。王运生等 (2007) 应用 ROC 曲线分析法对 5 种模型 (BIOCLIM, CLIMEX, DOMAIN, GARP, MAXENT) 的预测结果进行了比较。5 种模型的 ROC 曲线下面积 AUC (area under cover) 值以 Maxent 模型最大,表明其预测效果最好。此外,在国内,MaxEnt 模型被广泛用来预测外来入侵植物黄顶菊 *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze、飞机草 *Eupatorium odoratum* L.、薇甘菊 *Mikania micrantha* HBK 以及农田恶性杂草节节麦 *Aegilops tauschii* Coss. 的适生区域 (曹向锋等, 2010; 房锋等, 2013; 杨波等, 2009; 张海娟等, 2011), 均表现出良好的预测效果。可见,MaxEnt 生态位模型在植物分布方面具有良好的预测能力。

全球气候变化已是无需争辩的事实,虽然基于不同假设以及根据不同模型预测的结果不尽一致,但目前人们比较普遍接受的结论是,由于大气中温室气体的持续增加与臭氧层的不断破坏,全球平均气温将上升;有些地区降水和暴风雨频度增加,另一些地区则将变得更加干燥 (Kriticos *et al.*, 2003; Morrison *et al.*, 2005)。随着全球气候变化,生物的适生区也将不断改变,因此,在进行入侵物种适生区预测时应考虑未来气温升高对入侵物种潜在分布区的影响 (Körner, 2000)。

目前,虽然刺轴含羞草在世界热带和亚热带地区广泛分布,但是其在世界和中国可能的适生区及适生等级仍不明确,且尚未发现对刺轴含羞草在世界以及我国进行适生区预测的相关研究。笔者在

对东南亚国家越南、泰国等进行外来入侵生物调查过程中均发现有刺轴含羞草分布,有的分布区域靠近我国边境地区。为了明确刺轴含羞草是否有入侵中国大陆的可能性,在全球气候变化下是否会进一步全球扩展,本研究通过 MaxEnt 生态位模型利用世界上已有刺轴含羞草分布点的数据以及当前和 2050 年的环境数据对其在世界和中国的潜在分布区进行预测,对明确刺轴含羞草在世界和中国可能分布的范围和适生等级,合理制定刺轴含羞草的防控策略,保护农林业生产及生物多样性等具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 刺轴含羞草分布数据的收集与处理

刺轴含羞草在全球的分布通过从世界生物多样性信息机构 (GBIF) 网站下载,查阅国内外公开发表的论文,去掉错误和重复的数据,共计得到 902 条可用数据。记录按照 MaxEnt 软件的格式要求整理成物种分布数据文件。

1.2 环境数据

环境变量:通过 Worldclim 网站下载当前的环境数据 (1950 ~ 2000 年监测数据) 以及 IPCC 报告中各种能源的平衡发展的 SRES A1B 模式下美国国家大气研究中心 (NCAR)、英国气象局 (UKMO) 和加拿大气候中心 (CCCma) (表 1) 预测的 2050 年全球环境数据,共 19 个;生物气候变量为环境因子,即 Bio1 (年均温)、Bio2 (昼夜温差月均值)、Bio3 (等温性)、Bio4 (温度季节变化方差)、Bio5 (最热月最高温度)、Bio6 (最冷月最低温度)、Bio7 (年气温变化范围)、Bio8 (最湿季度平均温度)、Bio9 (最干季度平均温度)、Bio10 (最热季节平均温度)、Bio11 (最冷季节平均温度)、Bio12 (年均降水量)、Bio13 (最湿月降水量)、Bio14 (最干月降水量)、Bio15 (降水季节变异系数)、Bio16 (最湿季节降水量)、Bio17 (最干季节降水量)、Bio18 (最暖季度降水量)、Bio19 (最冷季度降水量)。

表 1 本文选用的在 IPCC-AR4 中采用的 3 个气候模式概况

Table 1 Overview of 3 IPCC-AR4 climate models used in this paper			
模式名称 Name of mode	研发机构缩写(国家) Abbreviation of research institutions (country)	大气水平分辨率(纬度 × 经度) Atmospheric horizontal resolution (latitude × longitude)	大气垂直层数 Number of atmospheric vertical layers
NCAR-CCSM3	NCAR(美国 America)	1.4° × 1.4°	26
UKMO-HadGEM1	UKMO(英国 UK)	1.3° × 1.9°	38
CGCM3.1-T63	CCCma(加拿大 Canada)	2.8° × 2.8°	31

地图资料:从 DIVA-GIS 网站(<http://www.diva-gis.org/>)下载全球地理信息资料和国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsdi.gov.cn/>)下载 1:400,000,000 的中国行政区划图,作为中国分析的底图。

1.3 软件

MaxEnt 软件在 <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/> 网站上注册后免费下载。采样及分析和制图软件采用 ESRI 公司开发的 Arc Map 9.3。

1.4 方法

将物种分布数据和环境数据导入 MaxEnt 软件中进行运算预测。随机选取 25% 的分布点作为测试集 (test date), 75% 作为训练集 (training date)。其他参数为软件默认参数,输出文件为 ASC II 格式。预测结果利用 ArcMap 的格式转换工具 Conversion Tools 由 ascii 格式转化为 raster 格式,利用 Spatial Analysis Tools 的 Reclassify 功能选择合适的阈值对适生指数 (suitable index, SI) 进行适生等级划分。本研究对刺轴含羞草适生等级的划分是根据刺轴含羞草在越南地区分布的实际情况来确定。笔者在对越南外来入侵生物考察过程中,在北部地

区零星发现刺轴含羞草,本次预测越南北部刺轴含羞草的适生指数多为 0.10 ~ 0.30,而在越南南部湄公河流域有大量刺轴含羞草发生,其预测适生指数多在 0.45 以上。因此,本研究将刺轴含羞草的适生等级划分为 4 级,分别为高度适生 ($SI > 0.45$)、中度适生 ($0.30 < SI \leq 0.45$)、低度适生 ($0.10 < SI \leq 0.30$) 和不适生 ($0.00 \leq SI \leq 0.10$)。刺轴含羞草在中国的适生情况可以利用空间分析工具 Spatial Analysis Tools 的 Extraction 功能,将有关中国的预测结果从全球预测结果中切割出来。

2 结果与分析

2.1 刺轴含羞草在全球的适生性分析

根据当前刺轴含羞草在全球的分布数据和环境数据,利用 Maxent 软件,获得刺轴含羞草在全球的适生性分布结果(图 1)。预测结果表明,全球刺轴含羞草高度适生区主要分布在南北纬度 30° 以内的热带和亚热带地区。包括中南美洲、非洲中部、东南亚地区以及大洋洲的北部地区。

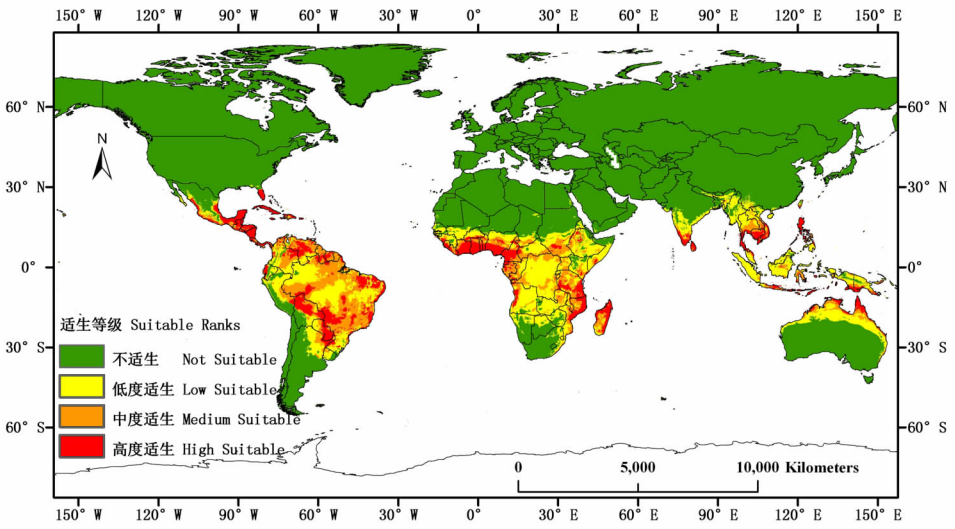


图 1 刺轴含羞草在全球的适生区预测
Fig. 1 Potential distribution of *M. pigra* in the world

2.2 刺轴含羞草在中国的适生性分析

中国南部地区处于刺轴含羞草全球分布的北部边缘。刺轴含羞草在我国的适生区分布在广东、广西、海南、四川、台湾、西藏、云南 7 个省区(图 2)。从适生面积来看,刺轴含羞草主要分布在广东、海南、台湾、云南 4 个省区。从适生等级来看,刺轴含羞草

的高度适生区分布在台湾和云南 2 个省,分别占该省面积的 20.53% 和 0.34%;中度适生区分布在海南、台湾和云南 3 个省,分别占该省区面积的 12.34%、18.29% 和 4.48%;低度适生区主要分布在广东、海南、台湾和云南 4 个省区,分别占该省面积的 13.75%、86.09%、37.08% 和 29.74% (表 2)。

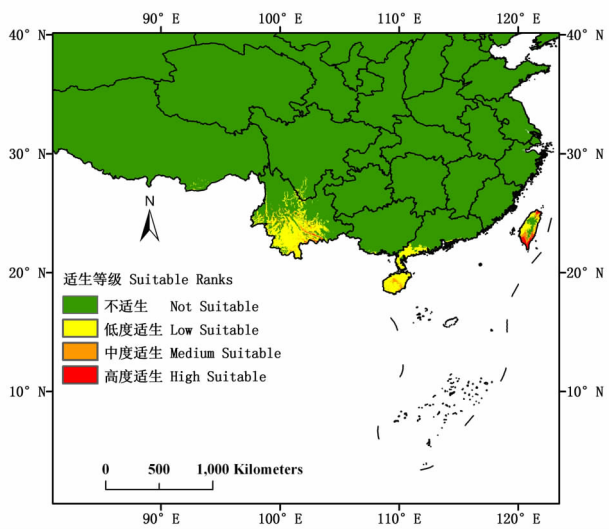


图 2 刺轴含羞草在中国的适生区预测

Fig. 2 Potential distribution of *M. pigra* in China

表 2 刺轴含羞草全球适生等级比例

Table 2 Percentage of areas of suitability grades for *M. pigra* in the world

环境数据 Environmental data	低度适生比例 Percentage area low suitability (%)	中度适生比例 Percentage area medium suitability (%)	高度适生比例 Percentage area high suitability (%)	总适生比例 Percentage of suitable area (%)
当前 Present (1950 ~2000)	9.74	6.54	4.76	21.05
NCAR-CCSM3 (2050)	8.67	7.31	5.15	21.13
UKMO-HadGEM1 (2050)	12.18	5.45	2.49	20.13
CGCM3.1-T63 (2050)	8.33	7.84	5.36	21.52

2.3 2050 年全球气候变化下刺轴含羞草的适生区

在未来各种能源平衡发展的 SRESA1B 模式下,利用美国国家大气研究中心 (NCAR)、英国气象局 (UKMO) 和加拿大气候中心 (CCCma) 3 个机构的环境数据对刺轴含羞草的分布进行预测表明,2050 年刺轴含羞草的适生区与当前在全球的预测

趋势一致 (图 3 ~ 5)。在未来,刺轴含羞草低度适生区占全球陆地面积的 9.73% (未来 3 种环境模式的均值,下同),中度适生区占 6.87%,高度适生区占 4.33%,适生区总面积占全球陆地面积的 20.93%,与当前相比基本一致 (表 2)。

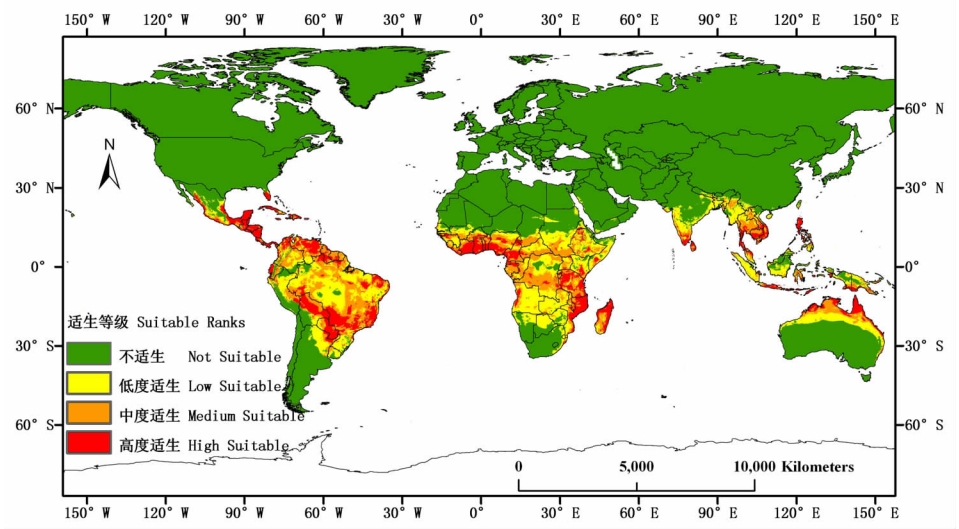


图 3 NCAR-CCSM3 模式下 2050 年刺轴含羞草适生区预测

Fig. 3 Potential distribution of *M. pigra* under the mode of NCAR-CCSM3 in 2050

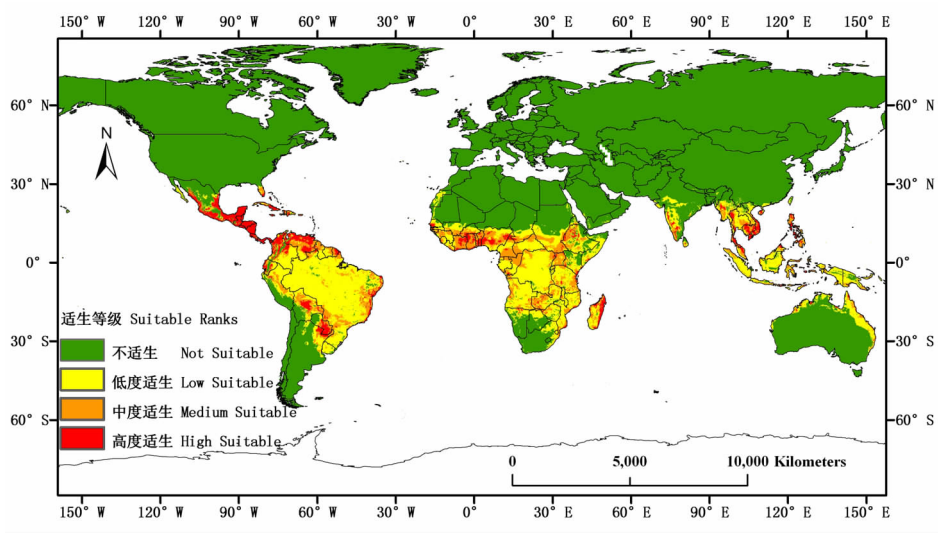


图 4 UKMO-HadGEM1 模式下 2050 年刺轴含羞草适生区预测

Fig. 4 Potential distribution of *M. pigra* under the mode of UKMO-HadGEM1 in 2050

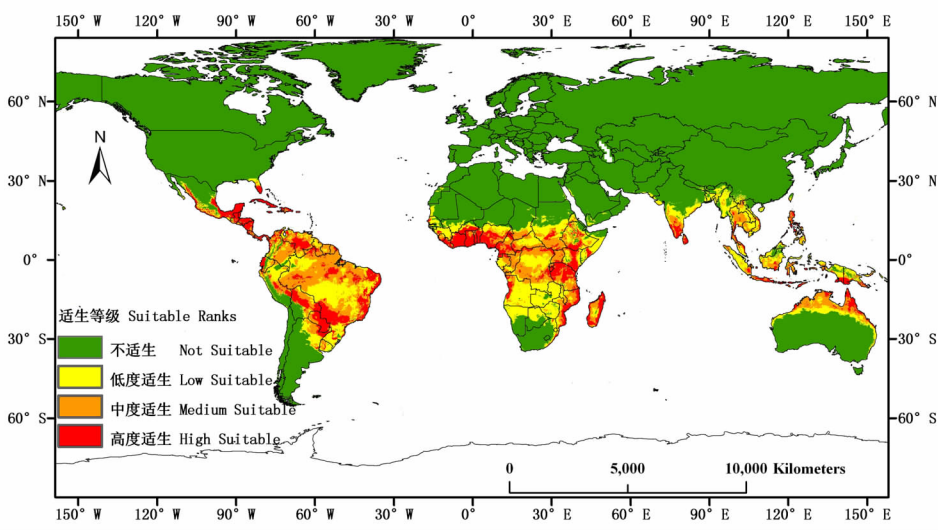


图 5 CGCM3.1-T63 模式下 2050 年刺轴含羞草适生区预测

Fig. 5 Potential distribution of *M. pigra* under the mode of CGCM3.1-T63 in 2050

2050 年时刺轴含羞草在我国适生区的分布并没有发生明显变化(图 6 ~ 8),其适生区依然主要分布在广东、海南、台湾、云南 4 个省区,总适生区比例仅为我国陆地面积的 1.21%,与当前总适生比例(2.08%)相比,有所降低。与利用当前的环境数据预测结果相比,刺轴含羞草在海南的中度和高度适生区有所增加,其他省区适生面积均有所减小(表 3)。

3 结论与讨论

ROC 曲线下的面积为 AUC 值,是目前最常用

的模型评价指标之一。一般认为 AUC 值 0.5 ~ 0.7 时诊断价值较低,0.7 ~ 0.9 时诊断价值中等,大于 0.9 时诊断价值较高(Walther *et al.*, 2002)。本研究中 Maxent 模型测试集的 AUC 值为 0.932,比随机分布模型的 AUC 值约为 0.5。在 2050 年的美国、英国、加拿大 3 个环境模型预测中测试集的 AUC 值分别为 0.935、0.934、0.934。比随机分布模型的 AUC 值约为 0.5。由此可见,本研究结果具有一定的可信性,但由于本研究 AUC 值仅是模型自身的内部检验,其精确性需要其他模型进一步检验。

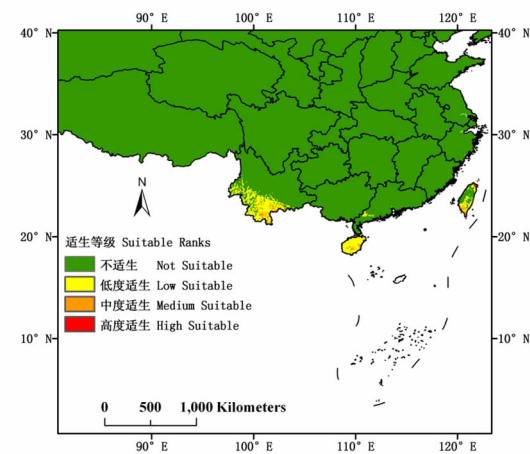


图 6 NCAR-CCSM3 模式下 2050 年
刺轴含羞草在中国的适生区预测

Fig. 6 Potential distribution of *M. pigra* in China
under the mode of NCAR-CCSM3 in 2050

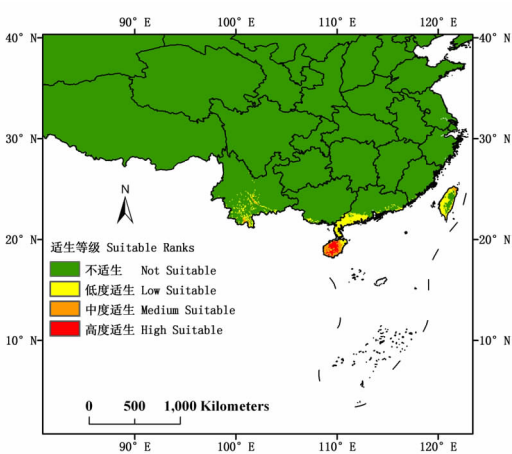


图 7 UKMO-HadGEM1 模式下 2050 年
刺轴含羞草在中国的适生区预测

Fig. 7 Potential distribution of *M. pigra* in China
under the mode of UKMO-HadGEM1 in 2050

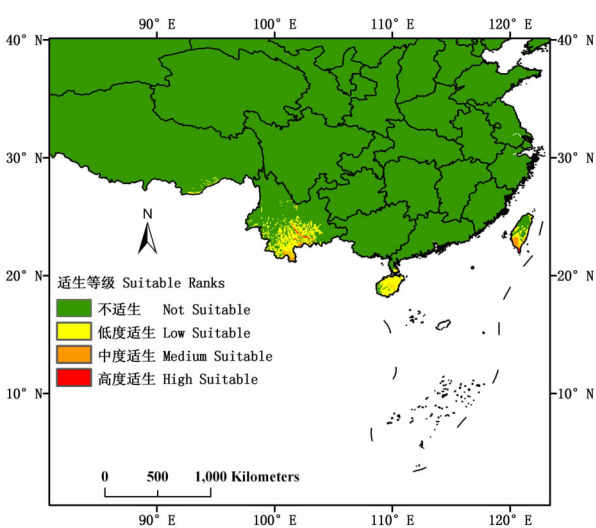


图 8 CGCM3.1-T63 模式下 2050 年刺轴含羞草在中国的适生区预测

Fig. 8 Potential distribution of *M. pigra* in China under the mode of CGCM3.1-T63 in 2050

本研究结果表明,刺轴含羞草在中国的适生区主要集中在广东西南部、海南、云南及台湾等地区。其中,云南、海南和台湾等地区存在刺轴含羞草的高度适生区。从目前的资料来看,海南和台湾作为刺轴含羞草中高适生区已经有刺轴含羞草存在(曾宪锋等,2013; Chen *et al.*, 2006),可见,刺轴含羞草极有入侵我国大陆的可能性,但主要集中在我国南部沿边及沿海省区。通过比较分析利用当前和未来 A1B 能源利用模式预测的刺轴含羞草适生区,表明刺轴含羞草在全球的适生区变化相对较小,且适生区没有进一步扩大。我国南部地区作为刺轴含羞草适生区的边缘地区,刺轴含羞草适生面积有一定的变化,但其适生区的核心区域没有明显改变,

这与以往对五爪金龙分布预测结果相似(岳茂峰等,2011)。这种植物适生区的变化主要是对环境温度和降水响应而发生的变化(李明阳等,2009)。

随着中国—东盟自贸区的建立,我国从东盟进口的农产品日益增加,刺轴含羞草进入我国的风险极大。因此,检疫部门,尤其是广东、广西、海南、四川、台湾、西藏、云南 7 个省区检疫部门应该对刺轴含羞草进行检疫,防止其随货物进入我国。在台湾和海南,应对已发现的刺轴含羞草进行及时扑灭,防止其进一步蔓延。云南作为我国大陆刺轴含羞草中高度适生区的主要分布区,应被列为刺轴含羞草的重点防范区,对其适生区进行定点监测,防止其入侵。

表3 刺轴含羞草在中国主要分布区适生等级比例

Table 3 Percentage of areas of suitability grades for *M. pigra* in main distribution area in China

地区 Region	环境数据 Environmental data	低度适生比例 Percentage area low suitability (%)	中度适生比例 Percentage area medium suitability (%)	高度适生比例 Percentage area high suitability (%)	总适生比例 Percentage of suitable area (%)
中国 China	当前 Present (1950 ~2000)	1.74	0.26	0.08	2.08
	NCAR-CCSM3 (2050)	1.04	0.17	0.02	1.23
	UKMO-HadGEM1 (2050)	0.81	0.21	0.10	1.12
	CGCM3.1-T63 (2050)	1.08	0.15	0.03	1.27
广东 Guangdong	当前 Present (1950 ~2000)	13.75	0.00	0.00	13.75
	NCAR-CCSM3 (2050)	0.00	0.00	0.00	0.00
	UKMO-HadGEM1 (2050)	22.25	0.05	0.00	22.30
	CGCM3.1-T63 (2050)	0.14	0.00	0.00	0.14
海南 Hainan	当前 Present (1950 ~2000)	86.09	12.34	0.00	98.43
	NCAR-CCSM3 (2050)	34.34	20.55	8.02	62.91
	UKMO-HadGEM1 (2050)	13.78	50.88	35.09	99.75
	CGCM3.1-T63 (2050)	84.71	3.51	0.00	88.22
台湾 Taiwan	当前 Present (1950 ~2000)	37.08	18.29	20.53	75.89
	NCAR-CCSM3 (2050)	30.84	11.45	4.67	46.96
	UKMO-HadGEM1 (2050)	55.61	9.81	0.23	65.65
	CGCM3.1-T63 (2050)	31.07	16.59	3.27	50.93
云南 Yunnan	当前 Present (1950 ~2000)	29.74	4.48	0.34	34.56
	NCAR-CCSM3 (2050)	18.21	3.04	0.06	21.31
	UKMO-HadGEM1 (2050)	5.40	0.73	0.00	6.13
	CGCM3.1-T63 (2050)	19.00	2.46	0.55	22.00

表中所列为适生区比例高于1%的地区。
The suitable percentage of the regions listed in the table is above 1% .

参考文献

曹向锋, 钱国良, 胡白石, 刘凤权. 2010. 采用生态位模型预测黄顶菊在中国的潜在适生区. 应用生态学报, 21 (12): 3063 – 3069.

房锋, 张朝贤, 黄红娟, 李燕, 陈景超, 杨龙, 魏守辉. 2013. 基于 MaxEnt 的麦田恶性杂草节节麦的潜在分布区预测. 草业学报, 22(2): 62 – 70.

雷军成, 徐海根. 2010. 基于 MaxEnt 的加拿大一枝黄花在中国的潜在分布区预测. 生态与农村环境学报, 26(2): 137 – 141.

李明阳, 巨运为, 吴文浩, 何燕洁, 徐光彩. 2009. 气候变化情景下外来森林病虫害潜在生境动态分析——以美国南方松大小蠹为例. 北京林业大学学报, (4): 140 – 145.

王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. 2007. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 15(4): 365 – 372.

杨波, 薛跃规, 唐小飞, 王媛, 张达敏. 2009. 外来入侵植物飞机草在中国的适生区预测. 植物保护, 35(4): 70 – 73.

岳茂峰, 冯莉, 田兴山, 杨彩宏, 吕利华, 李伟华. 2011. 基于 MaxEnt 的五爪金龙在中国的适生分布区预测//张超贤. 农田杂草与防控. 北京: 中国农业科学技术出版社, 99 – 103.

曾宪锋, 邱贺媛, 马金双. 2013. 刺轴含羞草——中国大陆

新归化入侵植物. 广东农业科学, (4): 72 – 73.

张海娟, 陈勇, 黄烈健, 倪汉文. 2011. 基于生态位模型的薇甘菊在中国适生区的预测. 农业工程学报, 27(增刊): 413 – 419.

Barneby R C. 1991. *Sensitive Censitae; A description of the Genus Mimosa Linnaeus (Mimosaceae) in the New World*. New York: The New York Botanical Garden.

Braithwaite R W, Lonsdale W M and Estbergs J A. 1989. Alien vegetation and native biota in tropical Australia: the spread and impact of *Mimosa pigra*. *Biological Conservation*, 48: 189 – 210.

Chen W M, James E K, Coenye T, Chou J H, Barrios E, de Faria S M, Elliott G N, Sheu S Y, Sprent J I and Vandamme P. 2006. *Burkholderia mimosarum* sp. nov., isolated from root nodules of *Mimosa* spp. from Taiwan and South America. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56: 1847 – 1851.

Croat T B. 1978. *Flora of Barro Colorado Island*. Stanford: Stanford University Press.

Cronk Q C B and Fuller J L. 1995. *Plant Invaders*. London: Chapman & Hall.

Elith J, Geaham H C and Anderson P R. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129 – 151.

- Heard T A, Mira A, Fichera G and Segura R. 2012. Ne-saecrepida infuscata: a biological control agent of the invasive plant *Mimosa pigra*. *BioControl*, 57: 573 – 580.
- Holm L, Pancho J V, Herberger J P and Plucknett D L. 1979. *A Geographical Atlas of World Weeds*. New York: John Wiley & Sons.
- Janzen D H. 1983. *Mimosa pigra* (Zarza, Dormilona) // Janzen D H. *Costa Rican Natural History*. Chicago: University of Chicago Press, 277 – 278.
- Körner C. 2000. Biosphere responses to CO₂ enrichment. *Ecological Applications*, 10: 1590 – 1619.
- Kriticos D J, Sutherst R W, Brown J R, Adkins S W and Maywald G F. 2003. Climate change and biotic invasions: a case history of a tropical woody vine. *Biological Invasions*, 5: 147 – 165.
- Lonsdale W M, Miller I L and Forno I W. 1995. *Mimosa pigra* L// Groves R H, Sheppard R C H and Richardson R G. *The Biology of Australian Weeds*. Melbourne: R. G. and F. J. Richardson Publishers, 169 – 188.
- Lonsdale W M. 1992. The biology of *Mimosa pigra* // Harley K L S. *A Guide to the Management of Mimosa pigra*. Canberra: CSIRO, 8 – 32.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S and de Poorter M. 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species: A Selection from the Global Invasive Species Database. Auckland: IUCN/SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG).
- Morrison L W, Korzukhin M D and Porter S D. 2005. Predicted range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*, in the eastern United States based on the VEMAP global warming scenario. *Diversity and Distributions*, 11: 199 – 204.
- Phillips S J, Anderson R P and Schapire R E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231 – 259.
- Praneetvatakul S. 2001. An impact assessment of ACIAR research projects on biological control in Thailand//Isvilanonda S, Praneetvatakul S, Sangkapituk C, Sattarasart A, Singhaprecha C and Sirisupluxana P. *Impact Assessments of Forty-nine Thailand/Australia Collaborative Projects Funded by ACIAR during 1983 ~ 1995 (Working Paper Series No. 38)*, Canberra: ACIAR, 9 – 25.
- Shanungu G K. 2009. Management of the invasive *Mimosa pigra* L. in Lochinvar National Park, Zambia. *Biodiversity*, 10: 56 – 60.
- Triet T, Kiet L C, Thi N T L and Dan P Q. 2004. The invasion of in wetlands of the Mekong Delta, Vietnam//Julien M, Flanagan G, Heard T, Hennecke B, Paynter Q and Wilson C. *Research and Management of Mimosa pigra*. Canberra: CSIRO Entomology, 45 – 51.
- Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O and Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389 – 395.

(责任编辑:彭露)

