

# 基于 Maxent 与 GIS 的锈色棕榈象 在中国潜在的适生性分析\*

冯益明<sup>1</sup> 刘洪霞<sup>2</sup>

1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081

**摘要** 选用 Maxent 生态位模型与地理信息系统(GIS)相结合, 综合分析影响锈色棕榈象 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 生长发育的环境因素, 结合寄主分布特征, 直观定量地获得了锈色棕榈象在我国的潜在发生区, 计算结果经 ROC 曲线分析法验证, Maxent 生态位模型的 AUC 值为 0.958(非常接近 1), 表明预测获得了较好的效果。

**关键词** 锈色棕榈象; 适生性分析; Maxent 生态位模型; 地理信息系统(GIS)

**中图分类号** S 431.9; S 763.38    **文献标识码** A    **文章编号** 1000-2421(2010)05-0552-05

锈色棕榈象 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 别名红棕象甲, 属鞘翅目象甲科, 是中国林业检疫性有害生物之一, 现已对我国椰子树产生严重危害。该虫起源于印度, 分布于世界多个国家, 我国主要分布于海南、广东、广西、台湾、云南、西藏的部分地区<sup>[1]</sup>。由于外来生物入侵会给当地生态环境的结构和功能带来不可逆转的改变<sup>[2]</sup>, 所以近年来生物入侵受到了全球广泛的关注。入侵生物在目标地区的风险评估是采取合理检疫措施和实施科学防治计划的前提, 而入侵物种在目标地区的适生性分析又是入侵物种科学风险评估的基础<sup>[3]</sup>。目前, 我国已有一些锈色棕榈象潜在危害性分析研究<sup>[1,4]</sup>, 但已有的研究多侧重于锈色棕榈象定殖需要具备的环境因素上, 很少考虑寄主分布区, 也没有从整体上在全国范围内, 综合研究锈色棕榈象在我国的适生分布范围, 且多侧重于描述性的文字说明, 很少有具体直观的图示。笔者采用地理信息系统与适生性预测软件 Maxent 相结合, 综合分析影响锈色棕榈象生物生态学特性与寄主分布, 定量刻画锈色棕榈象在我国潜在的适生分布范围, 旨在为锈色棕榈象的检疫及防治决策的制定提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据的获取及处理

1) 入侵生物物种的分布。通过查阅国内外公开

发表的相关论文获取锈色棕榈象的分布数据, 找出其已报道的分布地点, 在地名数据库(Geographic Names Database)查找相应的经纬度, 核对位置后得到 115 个参考点(图 1), 然后按 Maxent 软件要求的格式录入到相应 Excel 表中。

2) 基础地理。从国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsdi.gov.cn/>)下载 1:400 万的中国矢量地图作为分析底图。

3) 入侵地环境。环境数据包括了 19 个生物气候变量<sup>[5]</sup>, 它们分别是: I. BIOCLIM 中的 5 个变量(bio4, 湿度季节变化方差; bio7 年温变化范围; bio12 年均空气湿度; bio13 最湿月份湿度; bio16 最湿季度湿度); II. 月平均气候数据中的 13 个变量(11、12、1、2、3 月平均最低温, 11、12、1 月平均最高温, 6、7、8、9、10 月平均降水); III. 地形高程变量。这些环境数据的空间分辨率为 5 min, 均来自 WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>) 网站。从网站上下载的栅格数据在 Maxent 中可直接应用。

4) 锈色棕榈象寄主植物的分布。采集国家第六次森林资源清查得到森林分布图。根据文献<sup>[5]</sup>以及咨询锈色棕榈象研究专家, 确定锈色棕榈象感寄主植物。锈色棕榈象除为害椰树 *Cocos nucifera* L. 外, 还为害椰枣 *Phoenix dactylifera*、西谷椰子 *Metroxylon sagu* Rottb.、桄榔 *Arenga pinnata*

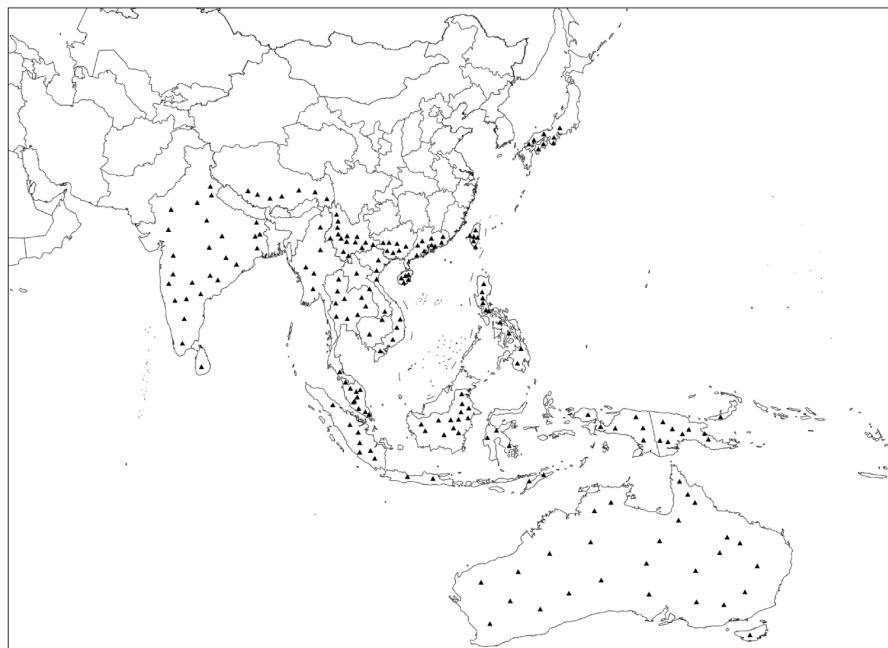


图1 锈色棕榈象的分布点示意

Fig. 1 *Rhychophorus ferrugineus* (Olivier) distribution point map according to reported results

(Wurmb) Merr.、油棕 *Elaeis guineensis* Jacq.、贝叶棕属的 *Corypha gebanga* Bl.、林刺葵 *Phoenix sylvestris* Roxb. 和糖棕 *Borassus flabelliformis* L.，鱼尾葵属的 *Caryota maxoma* Blume 和 *C. cumingii* Lodd.，王棕 *Oreodoxa regia* HBK. 和槟榔 *Areca catechu* L.。锈色棕榈象通常多为害椰树

和椰枣，成虫也能取食甘蔗茎并在上面产卵，卵孵化后部分幼虫能发育到成虫，但幼虫的死亡率很高，羽化的成虫个体都不正常地偏小，而且多为畸形。

在 ArcGIS 软件中，从收集的森林分布图中提取全国寄主植物分布信息（图 2，深色区域为寄主植物分布范围）。

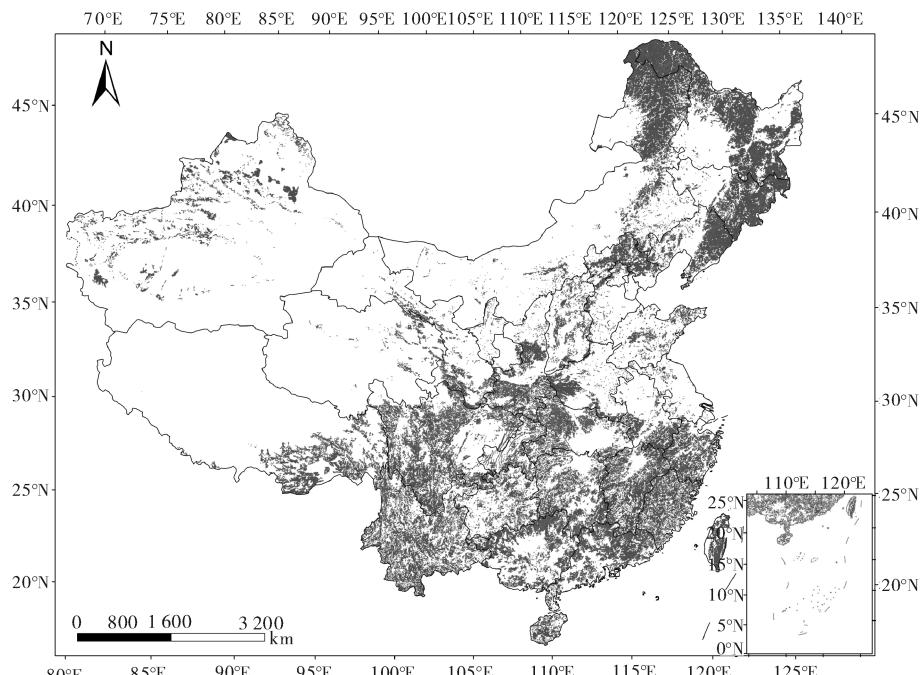


图2 锈色棕榈象的寄主植物分布

Fig. 2 Plant autoeciousness distribution of *Rhychophorus ferrugineus* (Olivier)

## 1.2 分析方法及其原理

生态位模型 (ecological niche models, ENMs) 已广泛应用于物种潜在分布区预测, ENMs 的应用也为外来入侵物种的风险分析提供了重要的量化分析工具。很多模型的算法已实现电脑程序化, 并形成了软件工具。当前比较流行的生态位模型主要有 5 种模型 (Bioclim, Climx, Domain, Garp, Maxent)。大部分模型软件预测结果可导入一般的地理信息系统 (GIS) 软件作进一步分析, 得到直观的适生性地图, 因而选用合适的模型预测物种的适生指数是整个分析的基础<sup>[6]</sup>。

王运生等<sup>[7]</sup>应用 ROC 曲线分析法对 5 种模型的预测结果进行了比较。5 种模型的 ROC 曲线下面积 (area under curve, AUC) 值分别为 0.810、0.758、0.921、0.903 和 0.950, 其中以 Maxent 模型的 AUC 值最大, 表明预测效果最好。因此, 本研究选用 Maxent 生态位模型进行锈色棕榈象在中国的潜在风险区分析。

Maxent 软件 V2.3 来源于 <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>, Maxent 软件中分析结果以 Logistic 格式 ASCII 类型文件输出, 然后应用 GIS 软件 Arc/Info 9.0 (来源于国家林业局图形图像重点实验室) 中的 Toolbox 工具, 从中选择 ASCII to Raster 功能, 将 Maxent 软件适生性

分析结果导出成图像格式, 再在 ArcGIS 中进行显示与风险等级划分。

对风险分析的结果进行精度检验时, 采用 ROC (receiver operating characteristic) 曲线分析法<sup>[7]</sup>。ROC 曲线分析法最早是应用于雷达信号分析, 后来在医学显像领域应用非常广泛, 常用于诊断试验评价<sup>[8]</sup>。ROC 曲线是以真阳性率为纵坐标, 假阳性率为横坐标所形成的曲线。AUC 值是 ROC 曲线与横坐标围成的面积值, AUC 值越大表示与随机分布相距越远, 环境变量与预测的物种地理分布模型之间相关性越大, 即模型预测效果越好。因为 AUC 值不受阈值影响, 所以评价更客观。ROC 曲线分析和 AUC 计算参照 Phillips 等<sup>[9]</sup>的方法进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 Maxtent 预测结果

将 115 个已知分布点和环境数据导入 Maxent, 并随机选取 38 个分布点 (约占总已知分布点的 1/3) 为测试集, 剩余的为训练集。应用 Maxent 生态位模型对锈色棕榈象在世界范围内的定殖分布区进行预测。预测结果以中国行政区划为边界, 在 ArcGIS 软件中裁出锈色棕榈象在我国的适生分布信息, 根据各地预测值的大小, 在 Arc/INFO 中进行分类显示 (图 3, 图注数值比实际值放大了 100 倍)。

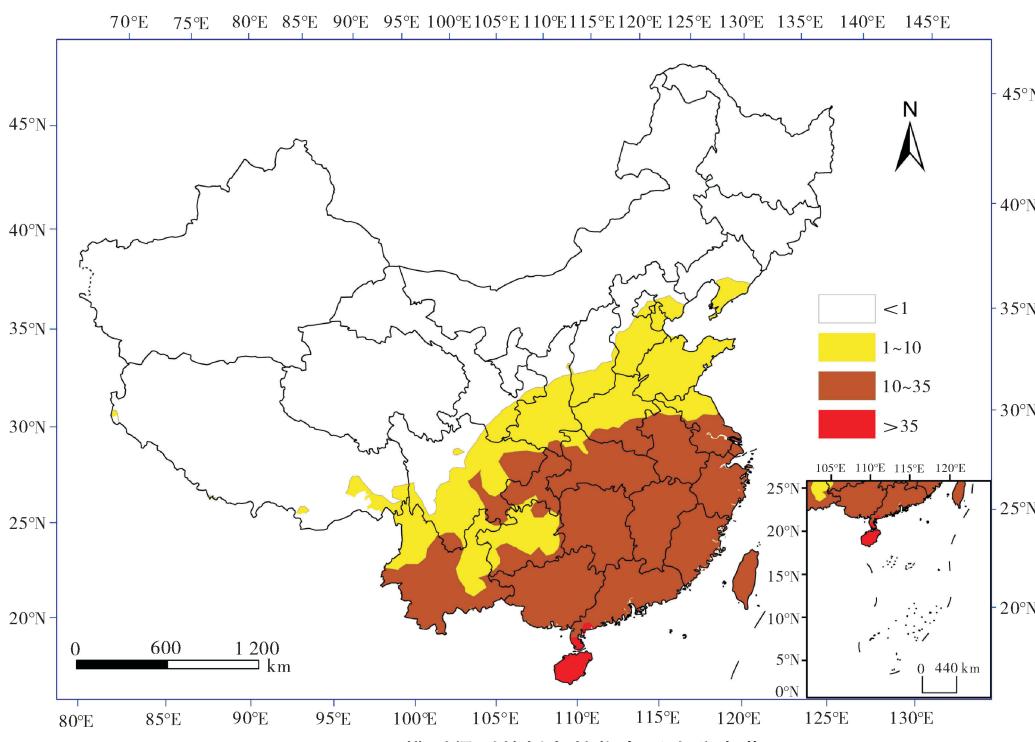


图 3 Maxent 模型得到的锈色棕榈象适生分布范围

Fig. 3 Potential distribution of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) conducted by Maxent model

图 3 中风险等级按 4 个等级进行划分, 分级标准如下: 适生值  $<0.01$  (无风险区); 适生值  $0.01 \sim 0.10$  (低风险区); 适生值  $0.10 \sim 0.35$  (中风险区); 适生值  $>0.35$  (高风险区)。

由图 3 可知: 锈色棕榈象在我国海南全省、广东局部地区属于高风险区; 广东大部分地区、江西、广西、湖南、云南南部、贵州南部、重庆、四川东部局部地区、浙江、福建、江苏南部、湖北南部、河南与安徽南部地区属于中风险地区; 云南北部、西藏南部局部地区、云南东部、贵州北部、四川南部、甘肃南部、陕西南部、山西南部、湖北北部局部地区、河南北部、安徽北部、江苏北部、山东省、河北南部、北京东部、辽宁东南部地区属于该虫的低风险发生区。综合分析

结果, 该虫害可能发生在我国的华东与华南地区。

## 2.2 适生分布范围

在综合考虑病原锈色棕榈象适生性分布基础上, 结合锈色棕榈象寄主植物的分布区, 应用地理信息系统软件 ArcGIS 中的空间叠置分析功能, 对锈色棕榈象寄主分布与 Maxent 软件得到的综合适生性分布区进行空间叠置分析, 获取最终锈色棕榈象在我国潜在适生分布范围(图 4)。图 4 中风险分级显示的阈值设置与图 3 中相同。

由图 4 可以看出, 图 4 的结果是在图 3 的基础上除掉了图 3 中没有寄主分布的区域, 因此, 图 4 中的结果比图 3 中的结果更准确, 可为锈色棕榈象的检疫及防治决策的制定提供更为可靠的依据。

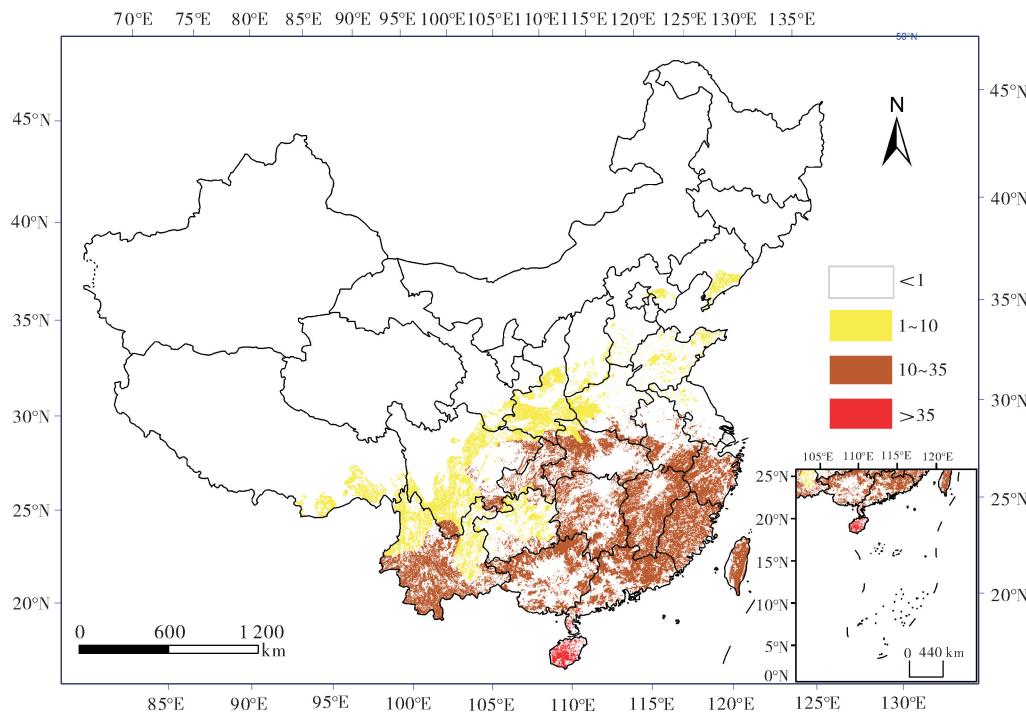


图 4 锈色棕榈象在中国潜在的适生分布范围

Fig. 4 Potential distribution of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) in China

## 2.3 精度检验

采用 ROC 曲线分析法对应用 Maxent 软件预测的锈色棕榈象适生性分布结果进行精度检验, 得到 Maxent 软件计算结果的 ROC 曲线(图 5)。

由图 5 可知, Maxent 模型的 AUC 值为 0.958 (非常接近 1), 比随机分布模型的 AUC 大(约为 0.5), 表明预测结果具有较高的精度。

## 3 讨 论

笔者选用 Maxent 生态位模型与地理信息系统相结合, 综合分析影响锈色棕榈象的生物生态学特

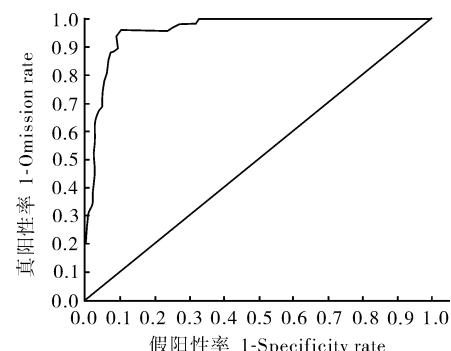


图 5 Maxent 模型的 ROC 曲线

Fig. 5 ROC curve of Maxent model

性与寄主分布,非常直观且定量地获得了锈色棕榈象在我国的潜在发生区,Maxent的计算结果经ROC曲线分析法验证,Maxent模型的AUC值为0.958(非常接近1),表明预测效果相当好。研究结果可为锈色棕榈象的检疫及防治决策的制定提供科学依据。

通过本项研究,对锈色棕榈象在全国的潜在适生分布区有了明确直观的了解,对于重点预防区的侵入和危害起着预警和应急的作用;对于可能发生的地区,应该引起当地主管部门的高度重视,采取适当的检疫检验措施防止锈色棕榈象的入侵。

锈色棕榈象寄主树种多是我国重要的经济树种,种植区域广泛,种植面积较大,因此其寄主分布的数据采集难度较大。本研究仅以国家第六次森林资源清查得到森林分布图为基础,把森林分布图中有森林分布的区域作为寄主分布范围,这与锈色棕榈象寄主实际分布范围肯定存在差异。另外,在环境变量选取方面,由于目前缺少相应的高分辨率数字地图,所以笔者仅仅考虑了常用的地形、气候以及寄主因素,而没有考虑土壤类型、天敌以及气候变暖等因素对锈色棕榈象适生分布的影响。如果能综合分析所有影响因素,则预测结果将会更准确。

## 参 考 文 献

- [1] 黄山春,覃伟权,马子龙,等.我国棕榈植物主要外来侵害虫及其防治[J].现代农业科技,2007(9):91-92.
- [2] ANDERSEN M C,ADAMS H,HOPE B,et al. Risk assessment for invasive species[J]. Risk Analysis,2004,24:787-793.
- [3] WITTENBERG R,COCK M J W. Invasive alien species:a toolkit of best prevention and management practices[M]. Wallingford: CAB International,2001.
- [4] 覃建美,罗宏果.危检疫害虫红棕象甲的识别和防治[J].植物医生,2007,20(2):34-35.
- [5] 刘奎,彭正强,符悦冠.红棕象甲研究进展[J].热带农业科学,2002,22(2):70-77.
- [6] ELITH J,GRAHAM H C,ANDERSON P R. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography,2006,29:129-151.
- [7] 王运生,谢丙炎,万方浩.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] METZ C E. Basic principles of ROC analysis[J]. Seminars in Nuclear Medicine,1978,8(4):283-298.
- [9] PHILLIPS S J,ANDERSON R P,SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling,2006,190(3/4):231-259.

## Potential Suitability Analysis of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) in China Based on Maxtent and GIS

FENG Yi-ming<sup>1</sup> LIU Hong-xia<sup>2</sup>

1. Institute of Desertification Studies,Chinese Academy of Forestry,Beijing 100091,China;

2. Agricultural Information Institute,Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081,China

**Abstract** In recent years, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), which belongs to Curculionidae, Coleoptera, is becoming a very serious pest on coconut. Ecological environment factors affecting its growth and development were comprehensively analyzed by combining Maxent ecological niche models with geographical information system technique and the distribution features of the host plants were taken into consideration. As a result, the relatively exact potential distribution region of *R. ferrugineus* all over China was obtained quantitatively and intuitively. The checked result of receiver operating characteristic (ROC) curve analysis showed that the area under curve (AUC) value of Maxent ecological niche models reached 0.958 (very close to 1), indicating that the predicted results was fairly satisfactory.

**Key words** *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier); suitability analysis; Maxent ecological niche models; geographic information system (GIS)