DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2021.03.010

基于 MaxEnt 模型的菜豆象 全球潜在适生区预测

徐养诚¹,刘孝贤²,王 婷²,李东育³,高桂珍^{4*} ¹通标标准技术服务(青岛)有限公司,山东 青岛 266101;²中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;³伊犁师范大学生物与地理科学学院,新疆 伊犁 835000; ⁴新疆农业大学林学与园艺学院,新疆 乌鲁木齐 830052;

摘要:【目的】菜豆象是重要的检疫性害虫,预测其在全球范围内的潜在适生区可为农业部门开展菜豆象防控工作和检验检疫部门制定检疫策略提供科学依据。【方法】在收集菜豆象已有分布点和全球气象数据的基础上,采用 MaxEnt 模型对其在全球范围内的潜在适生区进行预测分析。【结果】MaxEnt 模型的AUC 平均值为 0.926,预测结果准确可靠。菜豆象适生区主要分布在欧洲中西部的德国、法国、英国、荷兰、比利时、意大利、波兰、乌克兰、白俄罗斯和罗马尼亚等国家,非洲大陆和马达加斯加岛的中东部地区, 北美洲的墨西哥高原和美国中东部地区,南美洲南部地区,大洋洲澳大利亚东部和南部沿海地区、新西



兰,亚洲中国的云贵高原、四川盆地、华中和华南地区和台湾岛,缅甸东部地区、泰国和老挝北部地区、尼泊尔和日本大部分地区。高度适生区、中度适生区和低度适生区面积分别占陆地面积的4.95%、6.73%和13.70%。【结论】菜豆象的适生区面积占陆地面积的25.38%,持续扩散和危害的风险大。我国西南、华南地区等地区面临的形势更为严峻。影响菜豆象分布的主要生物气候因素有最冷月份最低温度、年平均温度、年气温变化范围、年降雨量、最干月份降雨量、最热月份最高温度、最暖季度平均温度、温度季节变化方差、昼夜温差月均值等。

关键词:菜豆象; MaxEnt; 潜在适生区; 生物气候因素

Potential suitable distribution of *Acanthoscelides obtectus* (Say) based on the MaxEnt model

XU Yangcheng¹, LIU Xiaoxian², WANG Ting², LI Dongyu³, GAO Guizhen^{4*}

¹SGS-CSTC Standards Technical Services (Qingdao) Co. Ltd, Qingdao, Shandong 266101, China; ²Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; ³College of Biology and Geography Science, Yili Normal University, Yili, Xinjiang 835000, China; ⁴College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China

Abstract: [Aim] Bean weevil, Acanthoscelides obtectus Say, is an important quarantine pest. To provide scientific advice to agricultural management and quarantine departments, this study predicted a potentially suitable range for A. obtectus on a global scale. [Method] We collected A. obtectus distributed site information and used the MaxEnt model to predict potential suitable areas. [Result] The average AUC value was 0.926, indicating that the MaxEnt model worked well in this analysis. The areas suitable for A. obtectus include Germany, France, Britain, Holland, Belgium, Italy, Poland, Ukraine, Belarus and Romaniain in Europe; central and eastern Africa and Madagascar island; the Mexico plateau and eastern United States in North America; southern regions of South America; eastern and southern areas of Australia and New Zealand in Oceania; the Yunnan Guizhou plateau, Sichuan basin, Central China, south China and Taiwan island in the south of China, eastern Myanmar, northern Thailand, Laos, Nepal, and much of Japan in Asia. The area ratios of highly suitable, moderately suitable, and minimally suitable are 4.95%, 6.73%, and 13.70%, respectively. [Conclusion] The areas suitable for A. obtectus account for 25.38% of all land area, with a high risk of continuing spreading and invading, especially in the south and southwest of China. The maximum temperature of the coldest month, annual mean temperature, range of annual temperature, annual mean precipitation, precipitation of the driest month, maximum temperature of the warmest month, mean temperature of the warmest quarter, standard deviation of temperature seasonal change, and monthly mean diurnal temperature were the key bioclimate factors for *A. obtectus* distribution.

Key words: Acanthoscelides obtectus; MaxEnt; suitable area; bioclimate factors

菜豆象 Acanthoscelides obtectus (Say) 又名大豆 象,属于鞘翅目豆象科三齿豆象属,以幼虫钻蛀籽 粒的方式危害菜豆 Phaseolus vulgaris (L.)、豇豆 Vigna unguiculate (Linn.) Walp.、绿豆 Vigna radiata (L.) Wilczek.,小豆 Vigna umbellata (Thunb.) Ohwi et Ohashi、鹰嘴豆 Cicer arietinum L.、豌豆 Pisum sativum Linn.等40多种豆科作物,使其丧失商品价值, 影响全球豆类贸易(刘永平和张生芳,1995;张润 志,2017; Ursula et al.,2009)。菜豆象具一定的飞 翔能力,年自然扩散的平均距离可达 25~30 km,具 有中等扩散能力,主要以引种和运输被侵染的籽粒 等方式传播,生态适应性强(莫仁浩和吴佳教, 2006; 吴长松等, 2019; 张润志, 2017)。菜豆象原 产中美洲和南美洲(张润志,2017),现已在美国《澳 大利亚、南非、俄罗斯、日本、阿富汗、中国等几十个 国家及地区传播(丁毅弘等,1993;刘永平和张生 芳,1995;姚洁等,2017)。自1991年起,我国贵州、 吉林、陕西、宁夏、云南等省区都有菜豆象疫情的报 道,以2013年贵州省疫情最为严重,主要分布在7 个地(市、州)的40个区、县(江兆春等,2018:齐贵 林,1991; 任轲亮等,2018; 申智慧等,2014; 赵龙 等,2015)。经调查,菜豆象在贵州每年发生2~3 代,世代重叠现象明显,仅2017年就有8个县(区) 130 多个乡镇的 3.14 万户农户和 180 多个经销商 储存的豆类作物受害,一般受害率为2%~34%,最 高受害率为100%(吴长松等,2019)。

生态位模型(ecological niche models, ENMs)是 基于物种已知的地理分布数据和相关环境因素数 据,采用一定算法推算物种的生态需求,并将结果 投射至不同时间和空间来预测物种的实际与潜在 分布(朱耿平等,2013)。常用的生态位模型中,最 大熵模型 MaxEnt 具有操作简单、运行时间短、结果 稳定和预测结果精度高等特点(李国庆等,2013; 张路,2015),已被用于多种入侵性害虫的适生区预 测,如马铃薯甲虫 Leptinotarsa decemlineata Say (侯 沁文等,2020)、稻水象甲 Lissorhoptrus oryzophilus Kuschel (丁新华等,2019;齐国军等,2012)、草地 贪夜蛾 Spodoptera frugiperda J.E. Smith (秦誉嘉等, 2019)、橙带蓝尺蛾 Milionia basalis Pryeri (罗集丰 等,2020)、红脂大小蠹 Dendroctonus valens LeConte (崔骁芃等,2019)、蔗扁蛾 Opogona sacchari Bojer (王梦琳等,2017)、茶翅蝽 Halyomorpha picus Fabricius、美国白蛾 Hyphantria cunea Drury (朱耿平等, 2017,2018)等。

菜豆象是重要的入侵害虫,已有学者运用有害 生物风险分析(pest risk analysis, PRA)程序对菜豆 象在印度和中国的入侵风险进行了评估,结果表 明,菜豆象的入侵风险高(江兆春等,2018; 刘永平 和张生芳,1995; 任轲亮等,2018; 汪成平等,2010; 王菊平等,2006; Shashi *et al.*,2016)。但目前鲜见 采用生态位模型结合 ArcGIS 软件对其潜在分布区 进行预测的相关报道,故本研究利用 MaxEnt 模型 对菜豆象在全球的适生区进行预测,以期为农业生 产部门和检疫部门对菜豆象的综合防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 菜豆象的地理分布数据与处理

参考全球生物多样性信息网(http://www.gbif. org)、中国国家有害生物检疫信息系统(http:// www.pestchina.com/pest/SitePages/PestInfoSearch. aspx)、中华人民共和国农业农村部 2021 年印发的 《全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录》, 结合相关参考文献(黄信飞等,1993;刘永平和张 生芳,1995; 王成炬等,1993;赵龙等,2015),全面 收集菜豆象的地理分布数据,逐一核对、比较并删 除重复发生点信息后得到 415 个发生点的经、纬度 数据。按照物种名称、经度和纬度的次序输入 Microsoft office excel 2010 转换为 CSV 格式备用。

1.2 全球生物气候因素数据来源

生物气候因素数据是以全球的气象记录信息 为基础数据,整合插值生成的全球气候栅格数据 (http://www.worldclim.org),包含19个生物气候因 素(11个温度相关因素和8个降雨相关因素)(表 1)。数据的时间跨度为1970—2020年,分辨率为 10 ARC-minutes,版本为 WorldClim Version 2。

1.3 地图数据来源

本研究使用的世界矢量地图从标准地图服务 网站(http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/index.html)获取。

表1 生物气候因素信息表

Table 1 Bioclimatic factors information

因素	田麦夕教 Fasters name						
Factors	凶杀石你 ractors name						
Bio 1	年平均温度 Annual mean temperature/℃						
Bio 2	昼夜温差月均值 Monthly mean diurnal temperature/℃						
Bio 3	等温性 Isothermality/%						
Bio 4	温度季节变化方差 Standard deviation of temperature seasonal change/℃						
Bio 5	最热月份最高温度 Max temperature of the warmest month/℃						
Bio 6	最冷月份最低温度 Max temperature of the coldest month/℃						
Bio 7	年气温变化范围 Range of annual temperature/℃						
Bio 8	最湿季度平均温度 Mean temperature of the wettest						
	quarter∕°C						
Bio 9	最干季度平均温度 Mean temperature of the driest						
	quarter∕°C						
Bio 10	最暖季度平均温度 Mean temperature of the warmest						
	quarter∕℃						
Bio 11	最冷季度平均温度 Mean temperature of the coldest						
	quarter/°C						
Bio 12	年降雨量 Annual mean precipitation/mm						
Bio 13	最湿月份降雨量 Precipitation of the wettest month/mm						
Bio 14	最干月份降雨量 Precipitation of the driest month/mm						
Bio 15	季降雨量变异系数 CV of precipitation/%						
Bio 16	最湿季度降雨量 Precipitation of the wettest quarter/mm						
Bio 17	最干季度降雨量 Precipitation of the driest quarter/mm						
Bio 18	最暖季度降雨量 Precipitation of the warmest quarter/mm						
Bio 19	最冷季度降雨量 Precipitation of the coldest quarte/mm						

1.4 MaxEnt 模型软件及使用

MaxEnt 软件从 MaxEnt 主页(http://www.cs. princeton.edu/~schapire/MaxEnt/)下载,版本为 MaxEnt Version 3.4.1。模拟过程中软件参数重复次 数设置为 10次,其余保持默认。

将菜豆象的地理分布数据和 19 个生物气候因 素数据输入 MaxEnt,筛选出影响菜豆象潜在分布的 主要生物气候因素(雷军成等,2015; 王茹琳等, 2017; 殷晓洁等,2013)。采用 SPSS 软件的 Spearman 相关系数分析模块计算其相关性,剔除相 关性较强的生物气象因素,消除共线性对模型建模 和结果的影响(王茹琳等,2017; Lemke *et al.*,2011; Yang *et al.*,2013)。将剩余的生物气候因素输入 MaxEnt 模型并运行,输出连续格栅数据。将其导入 AreGIS 转换为栅格图层,利用 AreGIS 分析工具模 块 analysis tools 再分类功能中的自然间断法选定合 适的阈值进行分级,分为非适生区、低度适生区、中 度适生区和高度适生区。

采用刀切法对生物气候因素贡献率进行分析, 采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)线下面积值(area under curve, AUC)对模型的模拟结果进行评价。AUC 值的取值 范围为[0,1],越接近1表明预测模型与生物气候 因素之间的相关性越高,预测结果准确度就越高 (Phillips *et al.*,2006; Swets,1988)。

2 结果与分析

2.1 影响菜豆象分布的主要生物气候因素的贡献 率及其相关性分析

采用 MaxEnt 模型筛选得出最冷月份最低温 度、年平均温度、年气温变化范围、年降雨量、最干 月份降雨量、最热月份最高温度、最暖季度平均温 度、温度季节变化方差、昼夜温差月均值是影响菜 豆象分布的主要生物气候因素,累计贡献率为 96.3%(表2)。运用 Spearman 相关性分析后,剔除 最热月份最高温度和最暖季度平均温度2个与年 平均温度相关性较高的生物气象因素(表3)

> 表 2 各生物气象因素贡献率和累计贡献率表 Table 2 Percent contribution and accumulated percent

contribution of key bioclimatic factors

因素 Factors	贡献百分率 Percent contribution/%	累计贡献百分率 Accumulated percent contribution/%			
Bio 6	21.8	21.8			
Bio 1	17.4	39.2			
Bio 7	17.3	56.5			
Bio 12	15.7	72.2			
Bio 14	10.5	82.7			
Bio 5	5.4	88.1			
Bio 10	4.9	93.0			
Bio 4	1.9	94.9			
Bio 2	1.4	96.3			

2.2 模型预测精度评价

本研究基于菜豆象的 415 个全球分布点数据 和 7 个生物气象数据的潜在适生区预测,应用 ROC 曲线分析法对 MaxEnt 模型预测结果可靠性进行检 验。重复 10 次的 AUC 平均值为 0.926(图 1),大于 0.9,表明此模型预测菜豆象的结果可靠。

2.3 菜豆象的潜在适生区

结果(图2)表明,菜豆象高度适生区占陆地面 积的4.95%,主要分布在欧洲的德国、法国、荷兰、 比利时、波兰西部地区、丹麦、瑞典南部地区,英国 和爱尔兰和意大利大部分地区;南美洲的阿根廷东 部、乌拉圭和巴西的东南部地区;非洲埃塞俄比亚 中部、肯尼亚西南部、乌干达西南部、刚果东部、卢 旺达和布隆迪、坦桑尼亚东北部、津巴布韦中部部 分地区、南非的东部和南部沿海地区、马达加斯加 岛中东部;大洋洲的澳大利亚东南部和西南部沿海 地区、新西兰东部及南部地区;亚洲的中国云贵高 原的云南北部、广西,云南和贵州交界地区。中度 适生区占陆地面积的 6.73%,主要分布在欧洲西部 的西班牙北部、葡萄牙大部分地区、意大利北部、塞 尔维亚、匈牙利、奥地利、波兰东部地区、罗马尼亚、 保加利亚、希腊、立陶宛、拉脱维亚大部分地区、瑞 典南部和白俄罗斯西部地区;南美洲的阿根廷东 部、巴西东南部、巴拉圭南部、安迪斯山西麓;北美 洲墨西哥北部和苏必利尔湖沿岸部分地区;亚洲中 部的云贵高原大部分地区、四川盆地的部分地区和 伊朗北部里海沿岸地区;非洲的南非东部部分地 区、肯尼亚西南部地区、津巴布韦中东部地区、乌干 达南部地区、埃塞俄比亚中西部地区、坦桑尼亚北 部部分地区和马达加斯加中部部分地区;在大洋洲 则以带状形式分布在澳大利亚高度适生区边缘。

表 3 生物气象因素之间的 Spearman 相关系数 Table 3 Spearman's correlation coefficients of bioclimatic factors

			1					
因素 Factors	Bio 6	Bio 1	Bio 7	Bio 12	Bio 14	Bio 5	Bio 10	Bio 4
Bio 1	0.791 * *					(()
Bio 7	-0.69	-0.346						
Bio 12	0.437 * *	0.541 * *	-0.342			56()/0		
Bio 14	-0.101	-0.192	-0.007	0.385 * *				
Bio 5	0.472 * *	0.805 * *	0.071	0.293 * *	-0.258			
Bio 10	0.712 * *	0.914 * *	-0.196	0.438 * *	-0.219	0.899 * *		
Bio 4	-0.642	-0.625	0.716 * *	-0,444	0.272 * *	-0.286	-0.402	
Bio 2	-0.363	0.129 * *	0.741 * *	-0.052	-0.121	0.455 * *	0.150 * *	0.178 * *

**表示在α=0.01水平上极显著差异。

* * Means factors have a significant difference at $\alpha = 0.01$.



低度适生区占陆地面积的 13.70%,主要分布 在欧洲的西班牙大部分地区、乌克兰、俄罗斯西部 地区、挪威、芬兰、瑞典中北部地区;南美洲的阿根 廷东部地区、玻利维亚南部、巴拉圭大部分地区和 巴西中部地区;北美洲主要分布在墨西哥中北部地 区、美国中东部地区和西部沿海地区、加拿大西南 部沿海地区;非洲的南非东部地区、马达加斯加南 部、安哥拉大部分地区、喀麦隆大部分地区、坦桑尼 亚和乌干达大部分地区、赞比亚、津巴布韦和莫桑 比克大部分地区、刚果南部;在亚洲则主要分布在 中国的华中和华南大部分地区和台湾岛、土耳其西 部地区、里海沿岸地区、日本大部分地区、越南和老 挝北部、缅甸东部地区、尼泊尔大部分地区、印度北 部和南部的部分地区。

2.4 不同生物气候因素的贡献率

刀切法检验中,仅此变量得分越高,说明该因 素的预测能力越高,其对物种分布的贡献就越大。 由图3可知,本研究筛选的生物气候因素对菜豆象 分布的贡献依次为年平均温度、年均温变化范围、 最湿季度平均温度、年降雨量、温度季节性变化方 差、最干月份降雨量、平均日较差。除此变量得分 越低,说明该因素的独特性越高,对物种分布的重 要性也越高。本文筛选的生物气候因素因素中,年 平均温度、年降雨量和最干月份降雨量较为重要。

3 讨论

本研究预测结果包含已报道存在菜豆象分布 的国家或地区,如:欧洲中西部地区的英国、德国、 法国、荷兰、西班牙、葡萄牙、意大利、波兰、乌克兰, 美洲的墨西哥、智利、古巴、阿根廷、秘鲁,非洲的乌 干达、肯尼亚、埃及、埃塞俄比亚、马达加斯加、南 非,大洋洲的澳大利亚、新西兰和斐济,亚洲的伊 朗、伊拉克、土耳其、印度、缅甸、日本等(黄信飞等, 1993;莫仁浩等,2006;张生芳和刘永平,1992;刘 永平和张生芳,1993,1995;王成炬等,1993;汪成 平等,2010)。这些国家或地区的大部分区域均呈 现出年平均温度较高、年降雨量大、湿度大,极端温 度发生较少的气候特征。研究表明,菜豆象在相对 湿度 85%,温度 22 ℃时卵的孵化率与幼虫的蛀人 率较高,分别可达 91% 和 95.6 ℃(李南植等, 1995)。在相同湿度(湿度 70%)条件下,当温度为 19 ℃左右时,菜豆象成虫的平均寿命为 30 d 左右, 最高可达 43 d;而当温度为 26 ℃左右时,成虫的平 均寿命为 13 d 左右,最高 18 d。相同温度(26.25 ℃)条件下,当湿度为 70%时,菜豆象成虫平均产卵 量为 46 粒,最高 88 粒;当湿度为 80%时,成虫平均 产卵量为 78 粒,最高可达 121 粒。在温度为 22 ℃、湿度为 85%时,菜豆象卵的孵化率为 91%,而在 温度为 32 ℃、湿度为 62%时,卵的孵化率仅为 26.3%(李南植等,1995;番启山等,1994; Howe & Currie,1964)。因此,菜豆象适宜在如上区域建立 种群并大规模扩散,本预测结果准确度较高。







生态位模型通常用来描述物种的基本生态位, 而非实际生态位。实际生态位通常小于基本生态 位。使用生态位模型进行物种潜在分布预测时,多 种影响物种分布的生物与非生物因素被忽视。本 研究通过筛选仅选取了7个影响其潜在分布的主 要生物气象数据,并未考虑寄主分布、天敌捕食等 生物因素和土壤类型、地理特征、自然地理屏障、人 类行为等非生物因素(Broennimann et al.,2007; Giovanelli et al.,2008; Guisan & Zimmermann, 2000)。菜豆象的几次大规模入侵和扩散都与菜豆 的大量进口或引种种植有关。如1914—1918年的 第一次世界大战等事件导致欧洲肉类奇缺,大量进 口菜豆以代替动物蛋白。菜豆象在这一时期从欧 洲南部地区扩散到了北部奥地利的维也纳地区,法 国的塞纳河地区(刘永平和张生芳,1995)。菜豆等 寄主植物的分布及扩散可能对菜豆象的入侵扩散 尤为重要。

随着我国人民生活水平的提高,豆类的需求日 益增高,种植面积与进口豆类数量的持续增长为菜 豆象入侵提供了便利。云贵高原、四川盆地、广东、 浙江和福建沿海区域作物结构复杂,菜豆象寄主广 泛,防治工作形势严峻。依据联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)国际植物检疫措施(international standards for phytosanitary measures, SPM)标准中 PRA 原则与外来有害生物风险评估多指标综合评价体 系的基本要求,需要提高对菜豆象的诊断能力、检 验检疫水平,控制菜豆象的入侵和扩散。建议目前 已经发生菜豆象疫情的地区在生产、运输、仓储环 节方面加强检疫及防治工作,积极开展菜豆象生物 学、生态学、预测和防控方法等方面的研究。

参考文献

- 崔骁芃,石娟,王海香,刘永华,余昊,2019. 基于 MaxEnt 模型的红脂大小蠹在中国适生区的预测. 植物保护学报, 46(4):925-926.
- 丁新华,李超,王小武,付开赟,吐尔逊・阿合买提,黄红 梅,木拉提・塔里木别克,何江,郭文超,2019. 稻水象 甲在新疆的潜在分布及适生性研究. 生物安全学报,28 (2):116-120.
- 丁毅弘,张显兴,胡长生,1993.菜豆象在吉林省发生的可能性分析.吉林农业科学(1):47-49.
- 番启山, 焦晓品, 李生贵, 李自飞, 张玉元, 钟焕祥, 杨润 惠, 王进, 1994. 菜豆象的生物学及防治初步研究. 植物 检疫, 8(3): 135-141.
- 黄信飞, 王成炬, 沈夕良, 1993. 菜豆象在温州适生性的初 步研究. 植物检疫, 7(6): 417-420.
- 侯沁文, 白海艳, 李云玲, 于成龙, 2020. 马铃薯甲虫在中 国的适生区. 生态学杂志, 39(10): 3311-3319.
- 江兆春,张忠民,耿坤,余杰颖,2018.菜豆象入侵我国的 风险性评价.贵州农业科学,46(1):47-50.
- 雷军成,徐海根,吴军,关庆伟,2015. 基于 IPCC AR5 的我 国常绿阔叶林潜在适宜生境变化分析. 生态与农村环境 学报,31(1):69-76.
- 李国庆,刘长成,刘玉国,杨军,张新时,郭柯,2013.物种 分布模型理论研究进展. 生态学报,33(16):4827-4835.
- 李南植,宋保深,吕杰,韩光日,1995.环境温湿度对菜豆 象成虫寿命及产卵影响的研究.植物检疫,9(4): 193-197.
- 刘永平,张生芳,1993. 国外仓储害虫的入侵动向. 植物检

疫,7(2):106-108.

- 刘永平,张生芳,1995.菜豆象在我国适生性的初步分析. 吉林粮食高等专科学校学报,10(4):1-9.
- 罗集丰,洪纯丹,方怡然,杨培新,李琦琦,林伟,2020.橙 带蓝尺蛾在中国的潜在分布预测研究.西部林业科学, 49(6):107-111.
- 莫仁浩,吴佳教,2006. 菜豆象入侵风险及检疫对策探讨. 粮食储藏(6):13-15.
- 齐贵林, 1991. 菜豆象的检疫及其防治. 河北农业科技 (12): 15.
- 齐国君,高燕,黄德超,吕利华,2012. 基于 MAXENT 的稻 水象甲在中国的入侵扩散动态及适生性分析. 植物保护 学报. 39(2):129-136.
- 秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红, 2019. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. 植 物保护, 45(4): 43-47, 60.
- 任轲亮, 耿坤, 张慧, 范刚强, 靳帅霞, 江兆春, 2018. 贵州 省菜豆象检疫风险分析. 中国植保导刊, 38(11): 72-75.
- 申智慧,刘春,杨洪,郑松,罗全丽,徐本刚,2014.菜豆象 发生规律与防治措施.耕作与栽培(3):47-48.
- 汪成平,刘占元,王应伦,2010.菜豆象入侵陕西的风险分析.陕西农业科学,56(5):80-86.
- 王成炬, 沈夕良, 黄信飞, 1993. 菜豆象各虫态致死温度试验. 植物检疫, 7(3): 172-173.
- 王菊平, 王小奇, 吕芳, 高萍, 2006. 菜豆象在中国的风险 性分析. 中国植保导刊 (5): 8-11.
- 王梦琳,范靖宇,李敏,朱耿平,2017. 入侵害虫蔗扁蛾在 我国的潜在分布区. 生物安全学报,26(2):129-133.
- 王茹琳, 李庆, 封传红, 石朝鹏, 2017. 基于 MaxEnt 的西藏 飞蝗在中国的适生区预测. 生态学报, 37 (24): 8556-8566.
- 吴长松,冯明义,李海,姜府文,赵芳,龙贵兴,丁昭兵, 卢云昌,彭瑶,廖华刚,张国升,颜兴,陶惠,文静,高 强,2019.毕节市菜豆象疫情发生危害及储存期防控措 施初探.植物检疫,33(1):59-61.
- 姚洁,戴仁怀,杨丽,2017.不同寄主对菜豆象发育和繁殖 的影响.植物检疫,31(3):6-9.
- 股晓洁,周广胜,隋兴华,何奇瑾,李荣平,2013.蒙古栎 地理分布的主导气候因子及其阈值. 生态学报,33(1): 103-109.
- 张路, 2015. MAXENT 最大熵模型在预测物种潜在分布范 围方面的应用. 生物学通报, 50(11): 9-12.
- 张润志, 2017. 菜豆象 Acanthoscelides obtectus (Say). 应用昆 虫学报, 54(6): 908.
- 张生芳, 刘永平, 1992. 警惕危险性害虫——菜豆象. 世界 农业 (7): 34-35.

赵龙,张时龙,吴宪志,余莉,卢运,王昭礼,杨珊,2015. 贵州省菜豆象疫情普查.现代农业科技(22):126-127.

- 朱耿平,范靖宇,王梦琳,陈敏,乔慧捷,2017. ROC 曲线 形状在生态位模型评价中的重要性——以美国白蛾为 例. 生物安全学报,26(3):184-190.
- 朱耿平,刘国卿,卜文俊,高玉葆,2013. 生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用. 生物多样性, 21(1):90-98.
- 朱耿平,原雪姣,范靖宇,王梦琳,2018. MaxEnt 模型参数 设置对其所模拟物种地理分布和生态位的影响——以茶 翅蝽为例.生物安全学报,27(2):118-123.
- BROENNIMANN O, TREIER U A, MÜLLER-SCHÄRER H , THUILLER W, PETERSON A T, GUISAN A, 2007. Evidence of climatic nicheshift during biological invasion. *Ecol*ogy Letters, 10(8): 701–709.
- GIOVANELLI G R, HADDAD C F B, ALEXANDRINO J, 2008. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, 10(5): 585-590.
- GUISAN A, ZIMMERMANN N E, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147–186.
- HOWE R W, CURRIE J E, 1964. Some laboratory observations on the rates of development, mortality and ovipsition of several species of Bruchidae breeding in stored pulses. *Bulletin* of Entomological Research, 55(3): 437-477.
- LEMKE D, HULME P E, BROWN J A, TADESSE W, 2011.

Distribution modelling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland plateau and mountain region, USA. *Forest Ecology and Management*, 262(2): 139–149.

- PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E, 2006. Maximum entroy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3/4): 231-259.
- SHASHI B, VCELIA C, KAVITA G, BALESHWAR S Z, DUBEY S C, 2016. Generic pest risk analysis: import of transgenic corn. New Delhi: ICAR-National Bureau of Plant Genetic Resources.
- SWETS J, 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240: 1285–1293.
- URSULA V P, JUMA S L, PETER J E, ANGELIKA H, 2009.
 Effectiveness of products from four locally grown plants for the management of *Acanthoscelides obtectus* (Say) and *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (both Coleoptera: Bruchidae) in stored beans under laboratory and farm conditions in Northern Tanzania. *Journal of Stored Products Research*, 45 (2): 97-107.
- YANG X Q, KUSHWAHA S P S, SARAN S, XU J C, ROY P S, 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51(1): 83–87.

(责任编辑:郑姗姗)