

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2020. 06. 015

橙带蓝尺蛾在中国的潜在分布预测研究*

罗集丰¹, 洪纯丹², 方怡然¹, 杨培新¹, 李琦琦¹, 林伟³

(1. 揭阳职业技术学院, 广东 揭阳 522000; 2. 汕头市龙湖区农业农村局, 广东 汕头 515000;
3. 拱北海关技术中心, 广东 珠海 519001)

摘要: 橙带蓝尺蛾是一种近年来爆发的林业有害生物, 已在多地发生并严重危害罗汉松。本文利用最大熵模型 MaxEnt 对橙带蓝尺蛾在中国的潜在地理分布区域进行预测, 并利用刀切法及变量反馈曲线对影响橙带蓝尺蛾分布的环境因子进行评估。结果表明: 橙带蓝尺蛾在我国适生区面积约占全国面积的 17.3%; 其中高、中、低度适生区分别占全国面积的 3.6%、3.5% 和 10.2%。我国适生区主要集中于北纬 34°以南, 东经 92°以东, 高度适生区集中在北纬 18°~28°之间。bio 18 最暖季降水量、bio 03 等温性、bio 06 最冷月最低温度和 bio 14 最干月降水量是影响橙带蓝尺蛾潜在地理分布的主要环境因子。

关键词: 橙带蓝尺蛾; 最大熵模型; 潜在地理分布; 环境因子

中图分类号: S 763 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2020) 06-0107-05

Prediction of Potential Geographic Distribution of *Milionia basalis* Walker in China

LUO Ji-feng¹, HONG Chun-dan², FANG Yi-ran¹, YANG Pei-xin¹, LI Qi-qi¹, LIN Wei³

(1. Jieyang Polytechnic, Jieyang Guangdong 522000, P. R. China; 2. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Longhu, Shantou Guangdong 515000, P. R. China; 3. Technical Center of Gongbei Customs, Zhuhai Guangdong 519001, P. R. China)

Abstract: *Milionia basalis* Walker is a forestry pest, which has broken out in recent years, and it is seriously harmful to *Podocarpus* spp. . In this study, the potential geographical distribution of *M. basalis* in China was predicted by MaxEnt. The environmental factors affecting the distribution of *M. basalis* were evaluated using the jackknife method and the response curve of environmental variables. The results showed that 17.3% territory of China was suitable for the survival of *M. basalis*. Among them, the high, medium and low suitable habitat accounted for 3.6%, 3.5% and 10.2% respectively. The potential suitable area of *M. basalis* in China mainly distributed in south of 34° N and east of 92°E. Among them, The high suitable areas mainly distributed between 18°N to 28°N. The precipitation of warmest quarter (bio18), the isothermality (bio03), the min temperature of coldest month (bio06), the precipitation of driest month (bio14) are the dominant environmental factors affecting the potential geographical distribution of *M. basalis*.

Key words: *Milionia basalis*; MaxEnt model; potential geographical distribution; environmental factors

橙带蓝尺蛾 (*Milionia basalis* Walker) 属鳞翅目尺蛾科昆虫。该虫在日本、缅甸、喜马拉雅东北

部、巽他古陆等地区均有分布, 我国的华南地区如广东、台湾等地亦有相关的分布记录^[1-7]。近几年

* 收稿日期: 2020-06-06

基金项目: 2020 年度广东省科技创新战略专项资金资助立项项目 (pdjh2020b1345), 揭阳职业技术学院 2019 年度科学研究项目 (2019JYPCQB03)。

第一作者简介: 罗集丰 (1983—), 男, 讲师, 硕士生, 主要从事植物保护教学与研究工作。E-mail:172364439@ qq.com

通信作者简介: 林伟 (1987—), 男, 高级农艺师, 硕士生, 主要从事植物检疫研究。E-mail:linweiciq@ qq.com

来, 橙带蓝尺蛾在多地爆发为害, 目前在中国、印度、泰国、马来西亚、日本和越南等地均有发生记录; 其中我国以广东、福建等地区的受害程度较为严重^[3-5]。有研究表明, 橙带蓝尺蛾主要为害罗汉松属 (*Podocarpus* spp.)、陆均松属 (*Dacrydium* spp.) 植物, 在中国以罗汉松受害最为严重, 当大发生时, 橙带蓝尺蛾能食尽其叶片, 使其只剩光秃秃的枝干^[1]。

近年来, 橙带蓝尺蛾不但没有得到有效控制, 而且扩散蔓延越来越迅速, 已经对园林生态安全产生重大威胁, 但目前对该虫的研究较少, 因此有必要对其在中国的潜在地理分布进行研究, 了解其可能的扩散范围和路径, 以便更有针对性、科学可持续地防控橙带蓝尺蛾。

本研究以 MaxEnt 模型为研究手段, 通过该模型预测橙带蓝尺蛾在我国的潜在适生区, 以便为橙带蓝尺蛾的检疫、风险预警及防控等方面提供参考依据, 为我国的农林生态安全提供保障。

1 材料与方法

1.1 应用软件

MaxEnt 3.4.1; ArcGIS 10.4.1; SPSS 22; Excel 2016。

1.2 数据收集

地图数据 以中国省级行政区图 (1 : 4000000) 作为分析底图, 地图由国家基础地理信息中心 (<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>) 下载。

环境数据 由世界气象数据库 Worldclim (<https://www.worldclim.org/>) 下载, 版本为 WorldClim Version2, 空间分辨率为 5 arc-min, 该环境数据共包括 19 个生物气候变量 (1970—2000 年的)。

分布数据 通过作者调查、网站查询、文献查证方式等^[1-7] 获得橙带蓝尺蛾在全球范围内的分布信息, 然后明确其具体分布的经纬度坐标并进行记录。

1.3 数据处理

1.3.1 分布数据

本研究共搜集到 96 个橙带蓝尺蛾的分布数据。为减少密集的分布数据对预测结果准确性的影响, 将数据导入 ArcGIS, 通过 ArcGIS 的分析工具将邻域分析设置 10 km 的缓冲区, 并利用叠加分析工具中的相交工具随机保留相交的一个分布点^[8-9], 最终得到 54 条分布数据供分析用, 依次按照物种名、经度及纬度 (十进制格式) 输入 Excel 并保持为

CSV 格式备用。

1.3.2 环境数据

将包含物种分布信息的 CSV 文件用默认参数运行 MaxEnt 软件, 获得 19 个环境变量对橙带蓝尺蛾预测结果的初步贡献率, 筛选出贡献率 > 1% 的变量。在 ArcGIS 中导入经过删选并保留的物种分布点数据, 通过提取工具把 19 个环境变量数据提取至分布点并导出相应的数据集, 并运用 SPSS 22 对数据集进行 Pearson 相关性分析。为了避免变量空间自相关, 对相关性系数 > | 0.8 | (极强相关) 的两个变量结合软件初次运行的贡献率进行选取, 选择贡献率较高的环境变量以供预测^[10-11]。本研究最终筛选出最暖季降水量 (bio 18)、等温性 (bio 03)、最干月降水量 (bio 14)、最冷月最低温度 (bio 06) 和最暖季平均温度 (bio 10) 这 5 个环境变量用于预测橙带蓝尺蛾的潜在地理分布。

1.4 模型的运行及评估

将橙带蓝尺蛾的分布数据和筛选后的 5 个环境变量再次导入 MaxEnt 软件, 选择创建反馈曲线 (Create response curves) 和使用刀切法评估变量重要性 (Do jackknife to measure variable importance), 输出格式为 “Cloglog”, 随机选取 25% 的分布点作为测试集 (Random test percentage), 重复运行模式 “Subsample”, 运行 10 个重复, 应用阈值规则选择 “10 percentile training presence”, 其余参数选择软件默认参数^[8-9]。

模型评估使用 ROC 曲线 (受试者工作特征曲线) 下面积 (Area Under roc Curve, AUC) 来进行风险分析结果的精度检验。AUC 值越大, 其与随机分布的相距越远; 当该值越接近 1 时, 表明该模型的预测效果越理想。ROC 曲线的评估标准如下: AUC 值为 0.5 ~ 0.6 时评估为失败, 为 0.6 ~ 0.7 时评估为较差, 为 0.7 ~ 0.8 时评估为一般, 为 0.8 ~ 0.9 时评估为较好, 为 0.9 ~ 1.0 时评估为极好^[12]。

通过模型自带的刀切法评估不同环境变量的贡献。模型会自动生成各气候因子响应曲线来显示预测分布概率随环境变量的变化趋势, 以响应曲线反映各环境变量对模型预测结果的影响^[13]。

1.5 适生区等级划分

将 MaxEnt 软件运行后输出的预测结果导入 ArcGIS, 然后利用重分类工具, 选择 “自然间断点分级法” (Jenks' natural breaks) 将橙带蓝尺蛾的适生区域分为 4 个等级: 非适生区, 低度、中度和高度适生区^[14-15]。最后利用 ArcGIS 的提取工具对

中国的潜在分布区域进行掩膜提取获得中国的预测结果图。

2 结果与分析

2.1 应用软件

MaxEnt 软件在运行中会自动绘制并输出 ROC 曲线,同时计算出该模型的 AUC 值和标准差,该值可直接作为模型预测的评判标准。本研究预测结果的 ROC 曲线见图 1。ROC 曲线分析结果显示,该模型的平均 AUC 值为 0.990,标准差为 0.007。AUC 值 0.990 远远大于随机预测分布模型的 AUC 值 0.5,即本次预测结果达到“极好”标准,能用于研究橙带蓝尺蛾适生范围的预测。

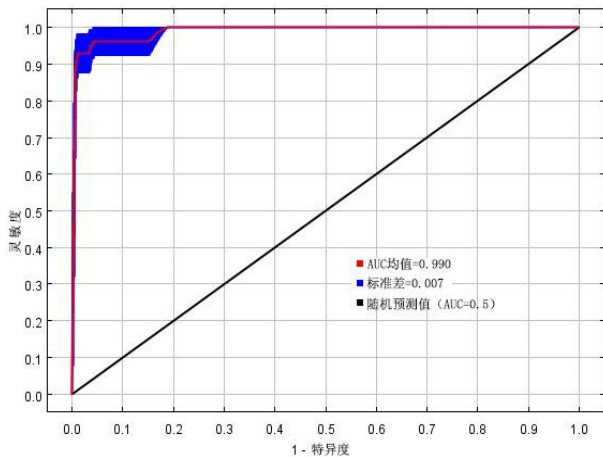


图 1 受试者工作曲线 (ROC) 及曲线下面积 (AUC)

Fig. 1 Receiver operating characteristic (ROC) curve and area under the curve (AUC)

2.2 橙带蓝尺蛾在我国的适生区

预测结果表明,橙带蓝尺蛾在我国适生区主要

集中于北纬 34° 以南,东经 92° 以东,适生区面积约为全国总面积的 17.3%。其中,高度适生区集中于北纬 $18^{\circ} \sim 28^{\circ}$,约为全国总面积的 3.6%,包括台湾的东、北和中部,广西和广东大部,福建的中、南和东北部,海南东部的沿海地区,江西南部、云南南部偏东以及藏南地区的少量区域;中度适生区约为全国总面积的 3.5%,主要分布在高度适生区的外围,主要包括福建大部,台湾西南部,江西东半部和西南部,浙江及湖南的南部,广东和广西的北部,海南的中部,贵州的西南部,云南及安徽、四川等地的少量区域;低度适生区约为全国总面积的 10.2%,范围较中度适生区继续外扩,主要集中在北纬 34° 以南,包括湖南、重庆和贵州大部,云南、安徽、湖北和江苏的南半部,台湾中部,浙江北半部,广西西北部,江西西半部,海南西部,四川东南部以及藏南的部分区域。

2.3 橙带蓝尺蛾地理分布与环境变量之间的关系

2.3.1 刀切法检验结果

由模型自带的刀切法检验结果能用于体现各环境变量对分布增益的贡献程度。其中,“仅此变量”值越大,说明该变量对预测物种分布贡献越大;“除此变量”值越小,说明该变量具有的独特信息越多,对物种分布较为重要^[9]。由本次预测的刀切法检验结果(图 2)可以看出:使用单变量建模时,bio 18 对模型的增益效果较为明显,结合贡献率来看,这个变量对预测的总贡献率达到 65.4%;当除去变量 bio 03、bio 18、bio 06、bio 14 时,模型预测增益效果下降最多,说明这 4 个变量具有更多影响预测结果的独特信息,结合贡献率来看,这 4 个变量对预测的总贡献率达到 99.6%。

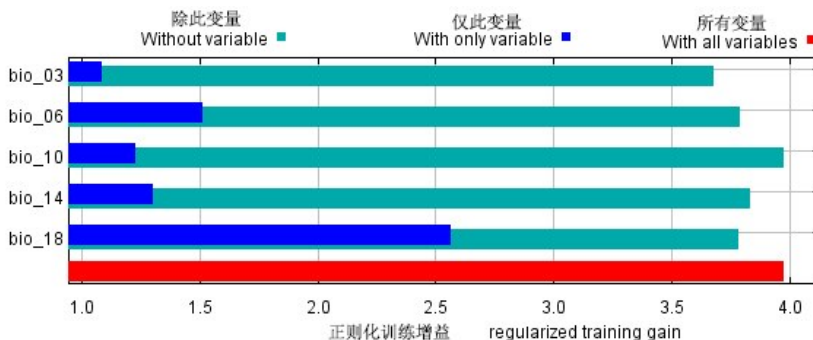


图 2 环境变量正则化训练增益的刀切法测试

Fig. 2 Jackknife test of regularized training gain for environmental variables

2.3.2 环境变量对橙带蓝尺蛾地理分布的影响

由图 3 可看出,橙带蓝尺蛾的适生指数随最暖

季降水量 (bio 18) 的增加而增加,其中降水量为 400 mm 时适生指数接近 0.5,当降水量达到 1 800

mm 后适生指数接近 1；等温性 (bio 03) 为 10 ~ 30 时适生指数随之增加而增加，为 30 时适生指数接近 1，随后随着值的增加而减少，100 时接近 0；最干月降水量 (bio 14) 为 0 ~ 30 mm 时适生指数随着值的增加而急剧增加，降水量 30 mm 时最高，

随后随着降水量的增加缓慢减少，至 320 mm 后趋于稳定；bio 06 最冷月最低温度为 -10 ~ 11℃ 时适生指数随温度增加而急剧增加，温度 11℃ 时最高，随后随着温度的增高缓慢减少，至 24℃ 以后趋于稳定。

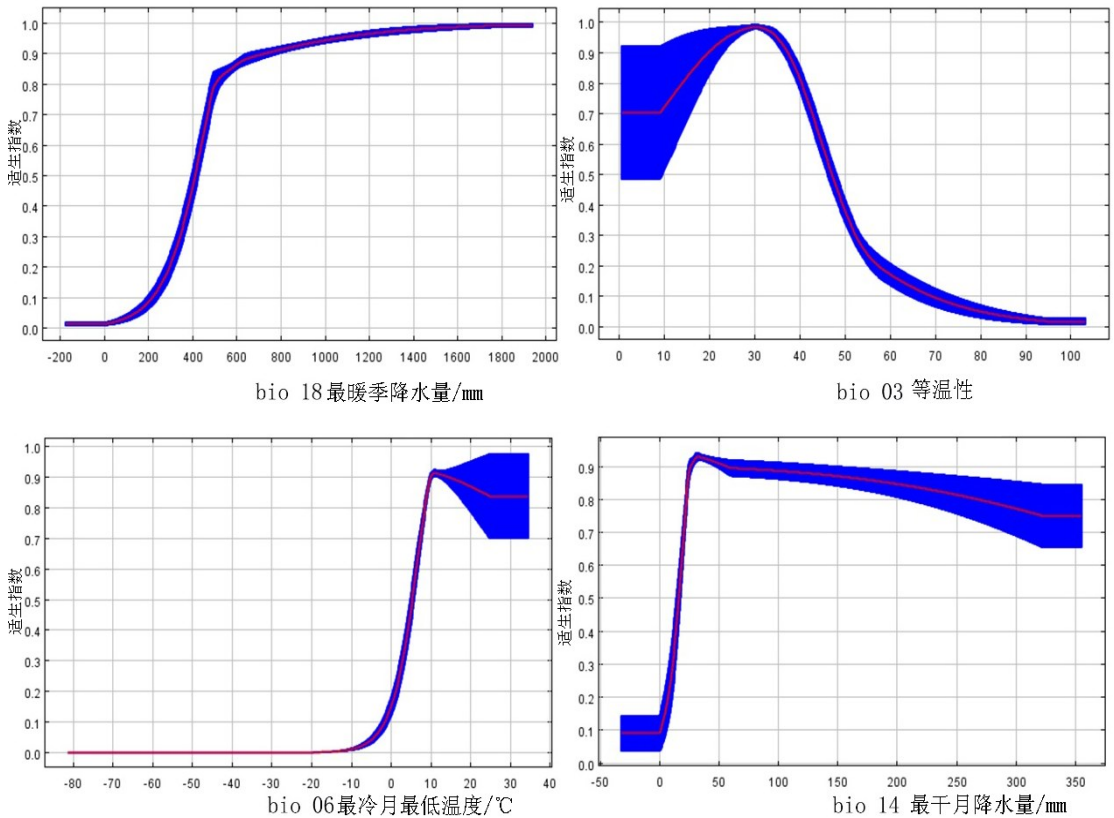


图3 主导变量的反馈曲线

Fig. 3 Response curves of significant environmental variables

3 结论与讨论

物种分布模型是研究物种潜在地理分布的重要工具。其中，MaxEnt 模型作为新兴的物种分布模型已被众多研究人员所采用^[16-18]。Elith 等^[19]对比了不同的物种分布模型的表现后，认为 MaxEnt 模型的预测效果整体较优，因此本研究选择 MaxEnt 模型作为研究橙带蓝尺蛾分布的预测工具。

在相对较大的尺度下，气候是影响物种分布的主要因子^[20]，本研究选择了与气候因子相关的 19 个环境变量做分析。由于环境变量的选择以及变量之间的自相关都会对预测结果产生一定的影响，为了提高预测结果的准确性，本研究以各因子对物种分布的贡献率来评价变量的重要性，并对变量间的相关性进行分析、取舍。本研究还对分布地点进行

了处理，对分布过于密集的点进行筛选，一定程度上避免了过度拟合造成的预测偏差。模型开发者 Phillips 等^[21]将“Cloglog”输出与其他 3 个输出方式进行比较后发现“Cloglog”输出为最优输出模式，因此本研究选取了“Cloglog”模式输出。此外，由于适生等级阈值的划分并不存在所谓公认的最优阈值划分方法^[22]，各个学者在确定适生性等级时少有一致^[8-12,14-17]，Liu 等^[23]对比了 12 种阈值选择方法，认为固定阈值是最差的方法之一。Creley 等^[24]比较了 3 种不同的阈值选择方法后认为自然间断点分级法 (Jenks Natural Breaks) 要更优，因此本研究选择了自然间断点分级法来划分阈值。

近几年来，橙带蓝尺蛾在我国南方省市突然爆发并迅速扩散，给各地的罗汉松造成严重危害^[1-7]。预测结果表明橙带蓝尺蛾在我国适生区面积约占全国面积的 17.3%，主要集中在我国华南、

华东、西南和台湾地区。其中, 中度、高度适生区主要分布于我国的华南、台湾和华东地区。通过对重要环境变量的分析以及预测结果均显示橙带蓝尺蛾的主要适生区分布于热带和亚热带湿润地区, 这与该虫在世界上已发生地区的分布情况基本相符。最终模型的预测结果评估也显示此次预测达到“极好”的标准。预测结果可为该虫的潜在地理分布作参考。适生区范围内的林业部门应引起足够重视, 加强对橙带蓝尺蛾的监测和防控, 以阻止该虫的扩散和为害。

本研究中地势、植被类型等对小尺度分布影响较大的因素^[25]并未被选择, 会对预测结果的精确性产生一定的影响。此外, 由于预测选用的环境变量仅包含 1970—2000 年的数据, 而近 20 年由于温室气体的大量排放, 气候的变化较大, 因此数据的缺失亦在一定程度上影响预测结果的精确性。

参考文献:

- [1] 林伟, 徐浪, 郭强, 等. 一种罗汉松害虫——橙带蓝尺蛾[J]. 植物检疫, 2017, 31(4): 67–69.
- [2] Inaturalist. *Milionia basalis* [EB/OL]. (2019-06-14) [2019-09-25]. <https://www.inaturalist.org/taxa/497516-Milionia-basalis>.
- [3] 防城港首次截获有害生物橙带蓝尺蛾[EB/OL]. (2016-06-14) [2019-09-20]. <http://gx.people.com.cn/n2/2016/0614/c347802-28506909.html>.
- [4] 永春县森防站. 永春县首次发现橙带蓝尺蛾为害罗汉松[EB/OL]. (2018-10-22) [2019-12-20]. <http://lyj.quanzhou.gov.cn/ylhh/detail?id=13184>.
- [5] 漳平市人民政府办公室. 漳平市人民政府办公室关于强化橙带蓝尺蛾等病虫害防控工作的通知. [EB/OL]. (2018-12-11) [2019-12-20]. http://www.zp.gov.cn/xxgk/zfxxgkzl/szfxgk/zfxxgkml/1100/201812/t20181220_1456113.htm.
- [6] 王缉健, 杨秀好, 梁晨, 等. 竹柏重要食叶害虫——橙带丹尺蛾[J]. 广西植保, 2014, 27(2): 22–23.
- [7] 肖斌, 肖力, 肖香英. 橙带蓝尺蛾在大余的风险性分析报告[J]. 生物灾害科学, 2019, 42(1): 61–64.
- [8] 赵佳强, 石娟. 基于新型最大熵模型预测刺槐叶瘿蚊(双翅目: 瘿蚊科) 在中国的适生区[J]. 林业科学, 2019, 55(2): 118–127.
- [9] 刘博, 郑奋, 王晔楠, 等. 危险性入侵害虫橘绵粉虱在中国的适生性预测[J]. 植物检疫, 2019, 33(4): 74–79.
- [10] 林伟, 徐森锋, 权永兵, 等. 基于 MaxEnt 模型的草地贪夜蛾适生性分析[J]. 植物检疫, 2019, 33(4): 69–73.
- [11] Wang R, Yang H, Luo W, et al. Predicting the potential distribution of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Kuwaya-
- ma), in China using the MaxEnt model[J]. PeerJ, 2019, 7: e7323.
- [12] 魏淑婷, 李涛, 林玉成. 基于 MaxEnt 模型预测四川省松材线虫的潜在适生区[J]. 四川动物, 2019, 38(1): 43–52.
- [13] Phillips S J. A Brief Tutorial on MaxEnt [EB/OL]. 2017 [2019-12-20]. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxEnt/.
- [14] Kumar S, Yee W L, Neven L G. Mapping global potential risk of establishment of *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) using MaxEnt and CLIMEX niche models[J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(5): 2043–2053.
- [15] Wang R, Li Q, He S, et al. Modeling and mapping the current and future distribution of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* under climate change in China[J]. PLoS ONE, 2018, 13(2): e0192153.
- [16] López-Martínez V, Sánchez-Martínez G, Jiménez-García D, et al. Environmental suitability for *Agrilus auroguttatus* (Coleoptera: Buprestidae) in Mexico using MaxEnt and database records of four *Quercus* (Fagaceae) species[J]. Agricultural and forest entomology, 2016, 18(4): 409–418.
- [17] Tang J, Li J, Lu H, et al. Potential distribution of an invasive pest, *Eu platypus parallelus*, in China as predicted by MaxEnt[J]. Pest Management Science, 2019, 75(6): 1630–1637.
- [18] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 557–567.
- [19] Elith J, Graham C H, Anderson R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 2006, 29(2): 129–151.
- [20] 朱耿平, 刘强, 高玉葆. 提高生态位模型转移能力来模拟入侵物种的潜在分布[J]. 生物多样性, 2014, 22(2): 223–230.
- [21] Phillips S J, Anderson R P, Dudík M, et al. Opening the black box: An open-source release of MaxEnt[J]. Ecography, 2017, 40(7): 887–893.
- [22] 雷军成, 徐海根, 吴军, 等. 气候变化情景下物种适宜生境预测研究进展[J]. 四川动物, 2015, 34(5): 794–800.
- [23] Liu C, Berry P M, Dawson T P, et al. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions[J]. Ecography, 2005, 28(3): 385–393.
- [24] Creley C M, Shilling F M, Muchlinski A E. An ecological niche model to predict range expansion of the eastern gray squirrel in California[J]. Bulletin, Southern California Academy of Sciences, 2019, 118(1): 58–70.
- [25] Pearson R G, Dawson T P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? [J]. Global Ecology and Biogeography, 2003, 12(5): 361–371.