

黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽的适宜生态空间和潜在分布分析

范靖宇 原雪姣 杨 琢 李 敏 朱耿平*

(天津师范大学生命科学学院, 天津市动植物抗性重点实验室, 天津 300387)

摘要: 为明确稻飞虱的2种重要天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 和中华淡翅盲蝽 *Tytthus chinensis* 在中国的适宜生态空间, 根据二者已有的分布记录, 通过选取具有限制性意义的气候变量, 对2种盲蝽的生态空间进行了对比; 并通过界定合适的模型构建区域, 基于赤池信息量准则选取最优模型, 在默认参数和校正优化参数下分别构建MaxEnt模型, 对其预测结果进行比较分析。结果显示, 2种盲蝽在我国所占有的生态空间具有较大的重叠, 基于默认和优化参数的MaxEnt模型的预测结果差别较大, 其中基于默认参数的MaxEnt模型预测结果较为保守, 而基于优化参数后的MaxEnt模型能够较好地预测中华淡翅盲蝽与黑肩绿盲蝽在我国的生态空间和潜在分布, 二者在我国中部及东南部有较大的生态空间和潜在分布区重叠, 包括河南、江苏、浙江、湖北、湖南、福建、广东、广西等省区, 其中黑肩绿盲蝽在我国华北和西北部亦有较高的适生性。

关键词: 黑肩绿盲蝽; 中华淡翅盲蝽; 潜在分布; 生态位模型; MaxEnt模型

Ecological dimensions and potential distributions of two mirid predators, *Cyrtorhinus lividipennis* and *Tytthus chinensis*, in China

Fan Jingyu Yuan Xuejiao Yang Zhuo Li Min Zhu Gengping*

(Key Laboratory of Animal and Plant Resistance in Tianjin, College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: *Tytthus chinensis* and *Cyrtorhinus lividipennis* are two major natural enemies of rice planthoppers, and their ecological dimensions and potential distributions were predicted using ecological niche model. Environmental spaces occupied by the two species were firstly compared using occurrence records that were attained from literature and environmental variables selected according to their ecological relevance. Based on geographic backgrounds delimited according to the accessibility of individual species, the default and fine-tuned MaxEnt models for *T. chinensis* and *C. lividipennis* to predict their potential distributions were generated. The fine-tuned MaxEnt model was selected based on the corrected Akaike information criterion. The results showed that environmental space occupied by the two species overlapped broadly, and the predictions based on default and fine-tuned MaxEnt models were different: predictions based on default settings was more conservative than that based on fine-tuned parameters. The fine-tuned MaxEnt could more accurately predict the ecological dimensions and potential distributions of *T. chinensis* and *C. lividipennis* in China, and both species showed high climate suitability in central and southeastern China, including Henan, Jiangsu, Zhejiang, Hubei, Hunan, Fujian, Guangdong and Guangxi; *C. lividipennis* also showed high suitability in the north and northwest of China.

基金项目: 国家自然科学基金(31401962, 31870523), 天津市“131”创新人才培养工程项目(ZX0471601006)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: gengpingzhu@hotmail.com

收稿日期: 2017-09-28

Key words: *Tytthus chinensis*; *Cyrtorhinus lividipennis*; potential distribution; ecological niche modeling; MaxEnt model

盲蝽科是昆虫纲半翅目中最大的科,按食性可分为肉食性、杂食性和植食性盲蝽,其中植食性盲蝽占多数,肉食性盲蝽和部分杂食性盲蝽捕食农业害虫,在农林生态系统中发挥着重要作用(吴伟坚等, 2004)。黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 和中华淡翅盲蝽 *Tytthus chinensis* 为我国稻区常见的捕食性盲蝽,主要取食半翅目的飞虱、叶蝉等,在稻飞虱种群控制中发挥着重要作用(罗肖南和卓文禧, 1986; Henry, 2012)。黑肩绿盲蝽在我国主要分布于华北、华东、西南及东南等水稻种植地区(傅子碧和卓文禧, 1980; Lou et al., 2014),国外见于墨西哥半岛、印度半岛、菲律宾群岛、马利亚纳群岛以及南美亚马逊雨林等地区(陈建明等, 1992)。中华淡翅盲蝽主要分布在我国的秦岭淮河以南地区,国外见于朝鲜半岛、印度尼西亚群岛部分地区(祝梓杰等, 2017)。稻飞虱是一类重要的迁飞性水稻害虫,常年采取化学杀虫剂来进行治理,使得其产生抗药性并有再暴发趋势(Heong & Hardy, 2009),如何采取有效的生物防治手段来持久地控制稻飞虱,特别是利用捕食性盲蝽来控制稻飞虱是一项重要的课题。

对捕食性盲蝽和稻飞虱的地理分布区进行比较分析,可以为天敌昆虫释放等利用捕食性盲蝽来防控稻飞虱的可行性提供重要参考(Sun et al., 2017; 祝梓杰等, 2017),但当前较多昆虫的现实地理分布数据仍不完善,这就需要利用特定的模型、基于已知的分布数据进行建模预测。目前,对于预测物种的现实分布和潜在分布多采用生态位模型进行研究。生态位模型是利用物种的已知分布数据和相关环境变量,并根据一定的算法推算物种的生态需求,将其运算结果投射到不同的空间和时间中去预测物种的实际分布和潜在分布,被广泛应用于入侵生物学和保护生物学的研究中(Dormann et al., 2013; 朱耿平等, 2013; Zhu et al., 2014)。其中最大熵模型(maximum entropy modeling, MaxEnt)最为流行,该模型是一种基于最大熵理论而提出的生态位模型,能够根据已有的物种分布记录和环境变量数据分析物种的生态位需求,并预测其潜在地理分布(Phillips et al., 2006)。然而,在模型的运用中出现了模型转移能力低、模型复杂度较高以及模型构建不合理等问题,对预测结果、结论及后期综合治理等产生了不良影响(Araújo & Peterson, 2012; 朱耿平等, 2013; 朱耿

平和乔慧捷, 2016)。

本研究拟基于MaxEnt模型对黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽这2种捕食性盲蝽在我国的适宜生态空间进行预测,并对其预测结果展开讨论。虽然之前祝梓杰等(2017)首次基于MaxEnt模型对黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽的潜在分布区进行了分析,但其在模型构建中存在采样偏差、空间维度过高、未降低环境变量的空间相关性、模型构建区域过大未能反映盲蝽的迁移能力,以及模型的复杂度过高和过度拟合等问题。而基于优化后的参数构建MaxEnt模型可以降低模型的复杂度,提高模型的转移能力(Warren & Seifert, 2011; 朱耿平和乔慧捷, 2016)。因此,本研究首先对2种盲蝽所占据的气候生态空间进行比较分析,然后通过筛选物种分布点和环境变量,选取具有限制性的气候变量,并界定合适的模型构建区域,分别以基于默认参数和优化参数构建的MaxEnt模型对2种盲蝽在我国的生态空间和潜在分布进行预测,以期利用捕食性盲蝽等生物防治手段来控制稻飞虱提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

分布数据:黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽的分布点主要源于祝梓杰等(2017)记载,其中黑肩绿盲蝽在全球的分布点有34个,中华淡翅盲蝽在全球的分布点有40个,这些物种分布点涵盖了2种盲蝽大致的分布范围,可以对其生态需求进行全面分析。物种分布点的采样偏差一般会造成生态位模型的过度拟合,从而降低模型的转移能力。本研究通过去除栅格内距离较近的物种分布点来降低采样偏差对生态位模型模拟的影响,最终整理出黑肩绿盲蝽分布点数据34条和中华淡翅盲蝽分布点数据33条,将其统一转换成十进制地理坐标的形式用于建模。

环境变量:环境变量的选择主要考虑其对2种盲蝽地理分布的限制性以及变量间的相关性。数据以Woldclim数据中心(Hijmans et al., 2005)中19种生物气候数据为基础,因气候数据存在一定的相关性,有些变量的相关度甚至高达90%(孙佩珊等, 2017),为保证模型建立过程中的准确性,首先去除温度和降水偶联的4个环境变量(Escobar et al., 2014),然后添加1月最低气温、1月最高气温、1月平均气

温、1月太阳辐射、7月最低气温、7月最高气温、7月平均气温、7月太阳辐射以及有效积温共9个备选环境变量进行后期处理。共选取24个环境变量。

1.2 方法

1.2.1 环境变量的选取

在 MaxEnt 3.4.0 软件 (http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/) 中运用刀切方法对上述24个环境变量在黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽地理分布作用中的限制性分别进行测试和排序,刀切法结果相对稳定,并且与实际验证吻合更好(李培先等,2017)。然后依据刀切法测试环境因子的重要性和各环境因子之间的相关性,在 SDMTtoolbox 工具包(Brown, 2014)中去除重要性较低和相关性高(Peterson 相关性值<0.8)的环境变量。最终本研究从24个常见气候变量中各选取最具有统计学意义的6个气候变量来进行空间比对和构建模型。对于黑肩绿盲蝽,保留的环境因子为昼夜温差月均值、季节性温度、季节性降水、7月最低气温、1月太阳辐射以及7月太阳辐射;对于中华淡翅盲蝽,保留的环境因子为昼夜温差月均值、最冷月份的最低气温、最湿月份的降水量、最干月份的降水量、7月最低气温、7月太阳辐射。模型构建区域以黑肩绿盲蝽的34个分布点和中华淡翅盲蝽的33个分布点为基础,通过 ArcGIS 10.4.1 软件界定最小边界区域,然后通过最小边界区域进行缓冲来界定模型构建区域。

1.2.2 气候空间比较

在模型构建前,通过空间比对可以分析2种盲蝽的生态需求,并对预测结果进行合理解释,是构建模型前的一个必要步骤(Soberón & Nakamura, 2009)。本研究采用 Broennimann et al. (2012) 所提供的 ecospat 数据包(R平台)来比较2种盲蝽所占有的气候空间,该程序基于主成分分析,采用核密度来拟合物种分布点及其所在地理区域所关联的环境变量来展示和模拟物种的生态位。

1.2.3 模型优化和对比

采用 MaxEnt 模型进行物种分布范围模拟。MaxEnt 模型基于一般性目的机械性学习方法应用于预测物种潜在分布区,具有诸多优点(Phillips et al., 2006),与其它软件相比,其输出结果更直观,准确率亦较高(Elith et al., 2006)。然而最新研究结果显示,MaxEnt 模型预测复杂度较高,对采样偏差敏感,容易产生过度拟合现象(Muscarella et al., 2014; 朱耿平和乔慧捷, 2016)。MaxEnt 模型采用物种存在的分布点和地理背景数据进行运算,通过在模型

构建区域选取拟不存在物种分布点来构建模型,模型构建区域对模型预测结果的影响较大(Hernandez, 2006; Barve et al., 2011)。本研究利用 MaxEnt 模型的系统收敛阈限 10^{-5} 和最大迭代次数 500 在各自本土地理区域构建模型,输出模式采用指数(cloglog)形式。通过随机选取 70% 物种分布点数据用于模型构建,剩余的 30% 分布数据用于模型检验,采用 partial ROC 方案测试模型的本土预测能力和转移能力(Peterson et al., 2008),最后基于所有物种分布点数据构建模型后用于结果展示。与传统 AUC(area under the curve)相比,partial ROC 方案更具优势,它采用 AUC 比率来评价模型,AUC 比率>1 说明模型相对随机预测较好,AUC 比率<1 说明模型相对随机预测较差(朱耿平等, 2017)。

MaxEnt 模型中有 5 种特征,即线性(linear, L)、二次型(quadratic, Q)、片段化(hinge, H)、乘积型(product, P)和阈值性(threshold, T)。在其默认设置中,调控倍频(regularization multiplier, RM)的值为 1,具体特征组合的选择和使用与物种分布点数量有关(Elith et al., 2010; 朱耿平和乔慧捷, 2016)。MaxEnt 的复杂性与 RM 和特征组合参数密切相关,本次 MaxEnt 模型优化通过调用 R 平台 ENMeval 数据包(Muscarella et al., 2014)来调整 MaxEnt 模型的 RM 和特征组合,分析各种参数条件下模型的复杂度并选取最低复杂度的模型参数,来预测 2 种盲蝽的潜在分布,综合比较分析 MaxEnt 模型基于默认参数和调整参数后的预测结果。ENMeval 通过测试不同参数条件下 MaxEnt 模型修正的赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)的值来评价模型的复杂度,信息量准则优先考虑 AIC 值最小的模型(Akaike, 1973)。在本研究中将 RM 值设置为 0.5~4.0;每次增加 0.5,采用 6 个特征组合,即 L、LQ、H、LQH、LQHP 和 LQHPT,采用 Checkboard2 方法划分模型构建区和测试区(Muscarella et al., 2014)。最后以基于优化参数(即 AIC 值最小)和默认参数模型的预测差值来展示二者在地理空间上的分布差异,即优化模型的预测结果减去默认参数模型的预测结果,0 表示无差异,正数或负数均表示优化模型预测结果比默认参数模型的预测值高。

2 结果与分析

2.1 黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽的生态空间比较

空间比对结果显示,主成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)可以分别解释环境变量的 39.68% 和 33.41%,

其中PC1与7月太阳辐射密切相关,而PC2与最干月份的降水量密切相关。黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽在PC1所占有的生态空间较窄,而在PC2所占有的

生态空间较宽,2种盲蝽生态空间具有较大的重叠(图1)。

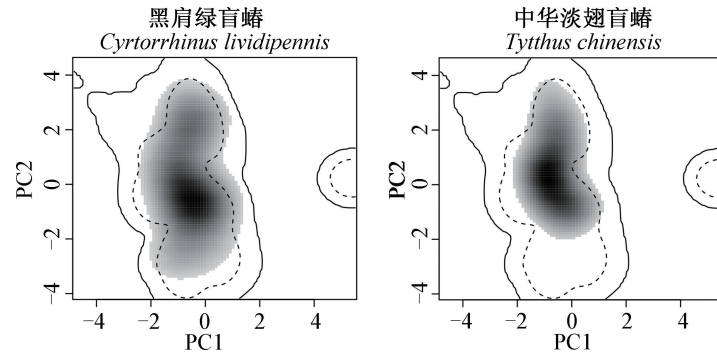


图1 黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽在第1(PC1)和第2主成分(PC2)所占有的生态空间

Fig. 1 Niche space of *Tytthus chinensis* and *Cyrtorhinus lividipennis* along the first (PC1) and second principle (PC1) components

2.2 MaxEnt模型参数优化

基于黑肩绿盲蝽的34个分布点,MaxEnt模型在默认参数设置时,其RM=1,运行的特征有L、Q、H、P和T;在MaxEnt的运行参数为RM=3.5和特征为L时,黑肩绿盲蝽的AIC值最小(图2)。基于中华淡翅盲蝽的33个分布点,MaxEnt模型在默认参数设置时,其RM=1,运行的特征有L、Q、H、P和T;在

MaxEnt的运行参数为RM=2.5和特征为L、Q时,中华淡翅盲蝽的AIC值最小(图2)。基于AIC值筛选模型优化参数,优化后模型的AUC值高于默认参数下模型的AUC值(图2),表明优化后的模型明显降低了对本土分布数据的过度拟合,将MaxEnt模型转移至全球范围后,基于默认参数和优化参数后模型的预测差别亦较大。

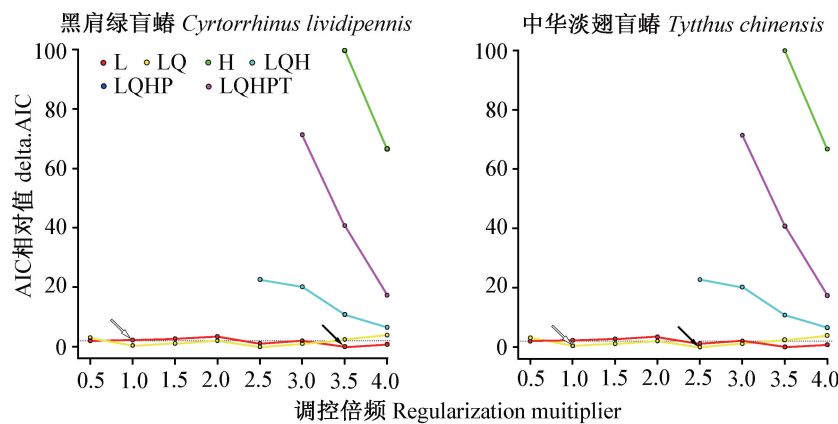


图2 不同参数下MaxEnt模型对黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽的本土分布预测

Fig. 2 Performances of niche model of *Tytthus chinensis* and *Cyrtorhinus lividipennis* under different settings by MaxEnt model

白色箭头表示MaxEnt默认参数,黑色箭头表示AIC值最小优化模型参数。L: 线性特征; Q: 二次型特征; H: 片段化特征; P: 乘积型特征; T: 阈值性特征。White arrow indicates default setting; black arrow indicates the AIC setting. L: Linear feature; Q: quadratic feature; H: hinge feature; P: product feature; T: threshold feature.

2.3 MaxEnt模型预测结果对比

基于默认参数和优化参数的MaxEnt模型均能较好地测试物种分布点进行预测,AUC比率均大于1.35,表明模型预测结果优于随机模型。与基于优化参数构建的MaxEnt模型相比较,基于默认参数的MaxEnt模型预测结果较为保守。MaxEnt模型经过优化后,结果显示黑肩绿盲蝽在我国西北的新疆

维吾尔自治区(简称新疆)北部地区亦出现较高的适生性(图3-A),此外在北美洲东南部及落基山脉地区,南美洲中部的亚马逊雨林地区,欧洲的阿尔卑斯山脉、巴尔干半岛、伊比利亚半岛,非洲北部的乍得盆地、撒哈拉沙漠部分地区,中东地区的阿拉伯半岛、小亚细亚半岛、伊朗高原、美索不达米亚平原以及苏门答腊岛、大巽他群岛、菲律宾群岛等地区亦显

示出较高的适生性(图4-A)。基于优化参数构建的MaxEnt模型预测结果显示,中华淡翅盲蝽在我国东南及中部地区的分布愈加明显,其中包括湖南、江西、福建、海南等省(图3-B),此外在墨西哥半岛、古巴岛、圭亚那高原,非洲中部的刚果盆地,欧洲平原

的大部分地区,西亚的哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、伊朗、科威特等国家以及印度半岛、马来群岛、中南半岛、中国台湾岛、斯里兰卡岛等地区亦显示出较高的适生性(图4-B)。

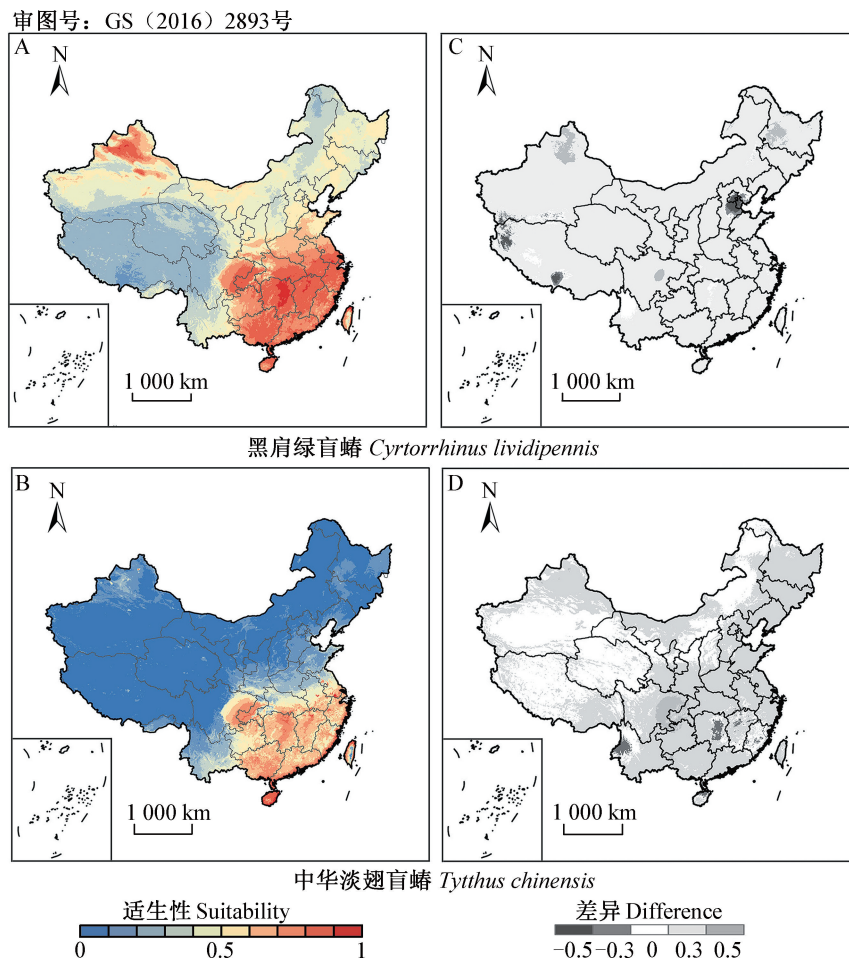


图3 MaxEnt模型对黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽在我国的潜在分布区的预测结果

Fig. 3 Potential distributions of *Tytthus chinensis* and *Cyrtorhinus lividipennis* in China based on MaxEnt model

A~B: 基于优化参数的MaxEnt模型对黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽在我国潜在分布区的预测; C~D: 基于优化参数模型与默认参数模型的对比(即优化模型的预测减去默认参数模型的预测)。A~B: Predictions based on the fine-tuned MaxEnt; C~D: the spatial difference between models calibrated on default and fine-tuned settings (*i.e.*, predictions based on fine-tuned model subtract that based on default model).

差异分析结果显示,基于默认参数与优化参数的MaxEnt模型预测中,黑肩绿盲蝽在台湾省中北部、湖南省南部和北部、云南省北部、西藏自治区(简称西藏)中部以及新疆南部的零星区域分布结果无差异;在河北省中东部、西藏西北以及西南部的分布中优化参数模型预测结果低于默认参数模型预测结果;而在新疆北部以及四川省和黑龙江省中部的分布中优化参数模型预测结果明显高于默认参数模型预测结果(图3-C)。2种不同参数下,中华淡翅盲蝽

的分布结果在全国大部分地区无差异,其中包括西藏、新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、福建及云南等省区;而在我国四川省东部、重庆市、广西壮族自治区、贵州省部分区域的分布中优化参数模型预测结果明显高于默认参数模型预测结果(图3-D)。

3 讨论

本试验的生态空间比对结果显示,黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽在我国占有相似的生态空间,二者

具有较大的重叠,与黑肩绿盲蝽相比,中华淡翅盲蝽所占有的生态空间相对小些,这亦反映在二者的潜在分布上,即黑肩绿盲蝽比中华淡翅盲蝽的地理分布范围大。在黑肩绿盲蝽的预测中,祝梓杰等(2017)基于MaxEnt默认参数的结果显示其适宜的区域明显多于中华淡翅盲蝽,在我国主要分布于河北省、山东省、山西省、陕西省以南以及四川省、云南省、贵州省以东的包括海南、台湾等省的大部分地区,国外见于东北亚、东南亚、南亚、欧洲中部部分地区,非洲西南部和东南沿海,墨西哥湾沿岸的部分北美-加勒比地区。本试验基于默认参数的MaxEnt

模型预测结果亦显示黑肩绿盲蝽在我国适宜区域包括东南部沿海地区、西北和华北地区以及西南零星区域;但MaxEnt模型经过优化后,预测结果显示黑肩绿盲蝽在我国西北地区出现较高的适生性,在北美洲东南部、南美洲中部的亚马逊雨林地区、欧洲大部分地区、非洲北部的部分地区、中东地区的阿拉伯半岛以及亚洲南部的菲律宾群岛等亦显示出较高的适生性。产生这种差异的原因可能是由于优化后的模型其相应曲线更为圆滑,所推测物种的生态需求更能够反应物种真实的生态需求(朱耿平和乔慧捷,2016)。

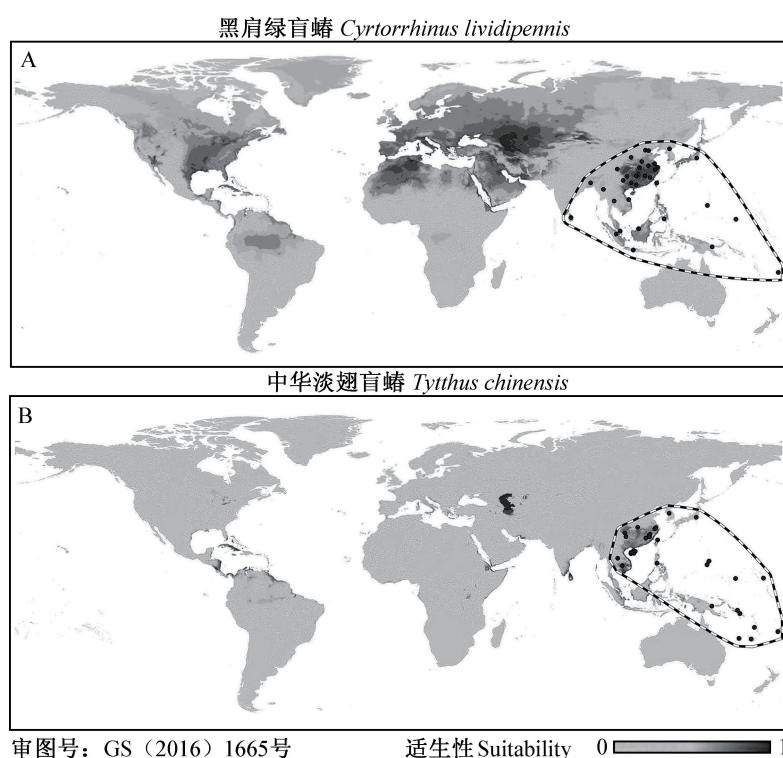


图4 利用MaxEnt模型基于优化参数和本土分布进行黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽全球转移的预测结果

Fig. 4 The predicted global transferring of *Tyttus chinensis* and *Cyrtorrhinus lividipennis* based on the native and fine-tuned MaxEnt model

黑白线所界定的区域表示模型构建区域,黑点表示构建模型的物种分布点。The white-to-black lines delimitate the area used to fit niche model, whereas blank points denote the points.

在中华淡翅盲蝽的潜在分布预测中,祝梓杰等(2017)基于MaxEnt默认参数的预测结果显示其在我国的适宜区主要在中国秦岭-淮河以南地区,包括江苏、安徽、湖北、湖南、贵州、广西、海南、江西、上海、浙江、台湾等省(自治区、直辖市),国外见于东南亚、南亚的印度东南沿海、太平洋西南诸岛屿,非洲西南部和东南沿海以及马达加斯加岛的东部地区,墨西哥湾沿岸-加勒比地区。本研究基于MaxEnt默认参数的预测结果亦显示中华淡翅盲蝽我国的东

南地区及中部有较强的适生性;但MaxEnt模型经过参数优化后,在我国中部地区的分布愈加明显,在北美洲的墨西哥半岛、非洲中部的刚果盆地、欧洲平原的大部分地区、西亚诸多国家以及斯里兰卡岛等地区亦显示出较高的适生性,这些差别主要是由于模型构建策略以及模型构建参数的不同造成的。

MaxEnt模型的复杂度对模型的转移能力影响较大(Warren & Seifert, 2011; Warren et al., 2014),基于默认参数和优化参数的模型预测结果对比图差异

显著,其中前者的预测结果较为保守。在本研究中,经过参数优化后构建的MaxEnt模型,其响应曲线较为平滑,而采用默认参数所构建的MaxEnt模型,其响应曲线曲折较多,简单的模型对模型构建区物种分布数据拟合效果较差,而复杂的模型虽能较好地拟合构建区物种分布数据,但其所反映出的物种和环境变量之间的响应关系会偏离实际(乔慧捷等, 2013)。在以模拟潜在分布为目的的生态位模型应用中,应降低MaxEnt模型复杂度对预测结果的不利影响(Warren & Seifert, 2011; Warren et al., 2014)。当前MaxEnt模型应用广泛而忽略了模型参数设置对模拟结果的影响,通过调整特征组合和调控倍频,可以调整模型的复杂度。当前可以矫正MaxEnt参数的软件或程序包主要有ENMeval数据包(Muscarella et al., 2014)、SDMtoolbox工具箱(Brown, 2014)和MaxEnt Variable Selection数据包(Jueterbock et al., 2016),其中本试验采用的ENMeval数据包能够综合多种参数来系统分析MaxEnt模型的复杂度,则更具有优势。

我国为害水稻的飞虱主要有3种:褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus*,其中以褐飞虱发生和为害最为严重,主要在长江流域及其以南地区,国外主要见于亚洲、大洋洲和太平洋岛屿的产稻国(陈建明等, 1992)。在我国,褐飞虱的分布区与2种盲蝽的潜在分布区具有较大重叠,因此利用2种盲蝽来防治稻飞虱具有较大的潜力。稻飞虱各虫期寄生性和捕食性天敌众多,其中最具有代表性的就是黑肩绿盲蝽和中华淡翅盲蝽,保护和开发利用这2种捕食性盲蝽进行生物防治,对稻飞虱的综合治理具有重要意义。

参 考 文 献 (References)

- Akaike H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle.//2nd International Symposium on Information Theory, pp. 610-624
- Araújo MB, Peterson AT. 2012. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93(7): 1527-1539
- Barve N, Barve V, Jiménez-Valverde A, Lira-Noriega A, Maher SP, Peterson AT, Soberón J, Villalobos F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222(11): 1810-1819
- Brown JL. 2014. SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(7): 694-700
- Broennimann O, Fitzpatrick MC, Pearman PB, Petitpierre B, Pellissier L, Yoccoz NG, Thuiller W, Fortin MJ, Randin C, Zimmermann NE, et al. 2012. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4): 481-497
- Chen JM, Cheng JA, He JH. 1992. Overview of domestic and foreign studies on *Cyrtorhinus lividipennis* Reute. *Entomology Knowledge*, 29(6): 370-373 (in Chinese) [陈建明, 程家安, 何俊华. 1992. 黑肩绿盲蝽的国内外研究概况. *昆虫知识*, 29(6): 370-373]
- Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carre G, Marquez JRG, Gruber B, Lafourcade B, Leitao PJ, et al. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1): 27-46
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2): 129-151
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudik D, Chee YE, Yates CJ. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43-57
- Escobar LE, Lira-Noriega A, Medina-Vogel G, Peterson AT. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of MaxEnt and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health*, 9(1): 221-229
- Fu ZB, Zhuo WX. 1980. The features of *Cyrtorhinus lividipennis* and its protection and utilization. *Fujian Agricultural Science and Technology*, (3): 8-10, 5 (in Chinese) [傅子碧, 卓文禧. 1980. 黑肩绿盲蝽的特性及其保护与利用. *福建农业科技*, (3): 8-10, 5]
- Henry TJ. 2012. Revision of the plant bug genus *Tythus* (Hemiptera, Heteroptera, Miridae, Phylinae). *ZooKeys*, (220): 1-114
- Hernandez PA, Graham CH, Master LL, Albert DL. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5): 773-785
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978
- Heong KL, Hardy B. 2009. Planthoppers: new threats to the sustainability of intensive rice production system in Asia. *International Rice Research Institute*. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute, pp. 1-460
- Jueterbock A, Smolina I, Coyer JA, Hoarau G. 2016. The fate of the Arctic seaweed *Fucus distichus* under climate change: an ecological niche modeling approach. *Ecology and Evolution*, 6(6): 1712-1724
- Li PX, Zheng JH, Lin J, Maidi · Kuerman, Xiao HW, Wu JG. 2017. Prediction of potential geographic distribution and analysis of the major driving factors for *Prosodes* (*Lioprosodes*) *dilatocollis* Motschulsky in Xinjiang by using MaxEnt model. *Journal of Plant Protection*, 44(3): 445-452 (in Chinese) [李培先, 郑江华, 林峻, 麦迪·库尔曼, 肖宏伟, 吴建国. 2017. 基于MaxEnt模型的突颚侧扁甲新疆潜在地理分布预测和主要影响因子分析. *植物保护*

- 学报, 44(3): 445–452]
- Lou YG, Zhang GR, Zhang WQ, Hu Y, Zhang J. 2014. Reprint of: biological control of rice insect pests in China. *Biological Control*, 68: 103–116
- Luo XN, Zhuo WX. 1986. The life history of the white back planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth), on its weed host in Fujian Province. *Journal of Plant Protection*, 13(1): 9–16 (in Chinese) [罗肖南, 卓文禧. 1986. 福建水稻白背飞虱生活史及在杂草寄主上的特性. *植物保护学报*, 13(1): 9–16]
- Muscarella R, Galante PJ, Soley-Guardia M, Boria RA, Kass JM, Uriarte M, Anderson RP. 2014. ENMeval: an R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for MAXENT ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11): 1198–1205
- Peterson AT, Papeş M, Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213(1): 63–72
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3/4): 231–259
- Qiao HJ, Hu JH, Huang JH. 2013. Theoretical basis, future directions, and challenges for ecological niche models. *Scientia Sinica Vitae*, 43(11): 915–927 (in Chinese) [乔慧捷, 胡军华, 黄继红. 2013. 生态位模型的理论基础、发展方向与挑战. *中国科学: 生命科学*, 43(11): 915–927]
- Soberón J, Nakamura M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(S2): 19644–19650
- Sun PS, Jiang F, Zhang XL, Zhang JQ, Pan XB, Li ZH. 2017. Invasion risk assessment of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* into China. *Journal of Plant Protection*, 44(3): 436–444 (in Chinese) [孙佩珊, 姜帆, 张祥林, 张静秋, 潘绪斌, 李志红. 2017. 地中海实蝇入侵中国的风险评估. *植物保护学报*, 44(3): 436–444]
- Sun Y, Brönnimann O, Roderick GK, Poltavsky A, Lommen STE, Müller-Schärer H. 2017. Climatic suitability ranking of biological control candidates: a biogeographic approach for ragweed management in Europe. *Ecosphere*, 8(4): e01731
- Warren DL, Seifert SN. 2011. Ecological niche modeling in MaxEnt: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecology Applications*, 21(2): 335–342
- Warren DL, Wright AN, Seifert SN, Shaffer HB. 2014. Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Diversity and Distributions*, 20(3): 334–343
- Wu WJ, Yu JY, Gao ZZ, Liang GW. 2004. The use of omnivorous mirids for biological control of pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(1): 61–64 (in Chinese) [吴伟坚, 余金咏, 高泽正, 梁广文. 2004. 杂食性盲蝽在生物防治上的应用. *中国生物防治学报*, 20(1): 61–64]
- Zhu GP, Liu GQ, Bu WJ, Gao YB. 2013. Ecological niche modeling and its applications in biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 21(1): 90–98 (in Chinese) [朱耿平, 刘国卿, 卜文俊, 高玉葆. 2013. 生态位模型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]
- Zhu GP, Redei D, Kment P, Bu WJ. 2014. Effect of geographic background and equilibrium state on niche model transferability: predicting areas of invasion of *Leptoglossus occidentalis*. *Biological Invasions*, 16(5): 1069–1081
- Zhu GP, Qiao HJ. 2016. Effect of the MaxEnt model's complexity on the prediction of species potential distributions. *Biodiversity Science*, 24(10): 1189–1196 (in Chinese) [朱耿平, 乔慧捷. 2016. MaxEnt模型复杂度对物种潜在分布区预测的影响. *生物多样性*, 24(10): 1189–1196]
- Zhu GP, Fan JY, Wang ML, Li M, Qiao HJ. 2017. The important of the shape of receiver operating characteristic (ROC) curve in ecological niche model evaluation: case study of *Hlyphantria cunea*. *Journal of Biosafety*, 26(3): 184–190 (in Chinese) [朱耿平, 范靖宇, 王梦琳, 李敏, 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]
- Zhu ZJ, Wang GY, Qiao F, Bai YL, Cheng JA, Heong KL, Zhu ZR. 2017. Potential geographical distribution and habitat suitability analysis for two mirid predators *Tytthus chinensis* and *Cyrtorhinus lividipennis* (Hemiptera: Miridae) in rice fields based on MaxEnt model. *Acta Entomologica Sinica*, 60(3): 335–346 (in Chinese) [祝梓杰, 王桂瑶, 乔飞, 白月亮, 程家安, Heong KL, 祝增荣. 2017. 基于MaxEnt模型的两捕食性盲蝽潜在分布区及其适生性分析. *昆虫学报*, 60(3): 335–346]

(责任编辑:李美娟)