

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.02.007

稻水象甲在新疆的潜在分布及适生性研究

丁新华¹, 李超², 王小武^{1,3}, 付开赞¹, 吐尔逊·阿合买提¹, 黄红梅⁴,
木拉提·塔里木别克⁴, 何江¹, 郭文超^{3*}

¹新疆农业科学院植物保护研究所/农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830091; ²新疆农业大学农学院, 新疆乌鲁木齐 830052; ³新疆农业科学院微生物应用研究所, 新疆乌鲁木齐 830091; ⁴伊宁县农业技术推广中心, 新疆伊宁 835100

摘要:【目的】通过精准开展稻水象甲在新疆荒漠绿洲稻区的适生性研究,旨在为新疆地区该重大外来有害生物的科学防控提供指导。【方法】基于 19 个环境因子和 64 个稻水象甲在新疆及内地重要代表性发生地的最新地理分布点信息,采用 MaxEnt 模型与 ArcGIS 10.2 软件进行具体分析,预测稻水象甲在新疆的最新潜在分布区,并划分风险等级。【结果】稻水象甲在新疆荒漠绿洲稻区的适生区域主要集中在北疆天山北坡和伊犁河谷一带,以及南疆阿克苏地区和克州的部分区域,其非适生区占新疆总面积的 79.97%,低适生区占 7.34%,适生区占 10.84%,高适生区则仅占 1.85%。【结论】稻水象甲在新疆继续扩散的趋势与危害风险依然较大,其中,年平均温(bio1)、等温性(bio3)、最湿季平均温(bio8)、最暖季的降雨量(bio18)和最热月的高温(bio5)是影响稻水象甲在新疆潜在扩散的主要环境因子。
关键词: 新疆; 稻水象甲; MaxEnt 模型; 适生性

Potential distribution and adaptability of the Rice Water Weevil (*Lissorhoptrus oryzophilus*) in Xinjiang

DING Xinhua¹, LI Chao², WANG Xiaowu^{1,3}, FU Kaiyun¹, TURSUN · Ahmat¹, HUANG Hongmei⁴,
MULATI · Talimubieke⁴, HE Jiang¹, GUO Wenchao^{3*}

¹Research Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Intergraded Management of Harmful Crop Vermin of China North-western Oasis, Ministry of Agriculture, P.R.China, Urumqi, Xinjiang 830091, China;
²College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China; ³Institute of Microbiological Application, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China;
⁴Xinjiang Yining Agricultural Technology Extension Center, Yining, Xinjiang 835100, China

Abstract:【Aim】This research on the adaptability of *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel in the desert oasis rice region of Xinjiang was conducted to provide scientific guidance for the prevention and control of serious non-indigenous pests.【Method】Based on the information of 19 environmental factors and 64 latest geographical distribution points of the rice water weevils in Xinjiang and other provinces, the MaxEnt model and ArcGIS 10.2 software were used to analyze and predict the potential distribution of rice water weevil in Xinjiang.【Result】The suitable areas of the rice water weevil in the desert oasis rice region of Xinjiang mainly include the northern slopes of the northern Tianshan Mountains and the Ili River Valley, as well as parts of the Aksu and Kezhou regions in southern Xinjiang. The non-suitable area accounted for 79.97% of the province, 7.34% were of low-suitability, 10.84% was predicted suitable, while the highly suitable area was only 1.85%.【Conclusion】There is still a trend of continued spread and high risk of harm by the rice water weevil in Xinjiang. The main environmental factors affecting the potential spread are the annual average temperature (bio1), isothermality (bio3), average temperature during the wettest season (bio8), rainfall during the warmest season (bio18), and temperature maxima during the hottest months (bio5).

Key words: Xinjiang; *Lissorhoptrus oryzophilus*; MaxEnt model; adaptive distribution

收稿日期(Received): 2018-06-21 接受日期(Accepted): 2018-12-11
基金项目: 新疆维吾尔自治区创新环境(人才、基地)建设专项—自然科学基金(2017D01B29)
作者简介: 丁新华, 男, 副研究员。研究方向: 外来有害生物监测预警及防控, 农林害虫综合治理、生物防治。E-mail: dingxinhua1984@163.com
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: gwc1966@163.com

稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* (Kuschel) 起源于北美洲中南部密西西比河流域 (Lange & Grigarick, 1959; Lupi *et al.*, 2015; Mohammad-Amir & Godfrey, 2014), 在国外, 其已传播扩散至南美洲、亚洲 (日本、印度、韩国、朝鲜) 和欧洲 (意大利) 并建立种群 (Lupi *et al.*, 2015)。在我国, 该虫疫区已扩散至我国西北、西南、东北、华北、华东、华中、华南等 23 个省 (自治区、直辖市) 463 个县 (市或地区) (龚伟荣等, 2007; 郭文超等, 2011; 齐国君等, 2012; 王小武, 2017)。

随着全球经济一体化的加快, 外来有害生物入侵引起了世界各国的广泛关注, 入侵物种适生性分析则是目标地进行风险评估、合理制定检疫措施和科学防治的前提 (Wittenberg & Cock, 2001)。目前, 我国已先后开展了一些重要外来有害生物的适生性分析及风险评估研究, 如综合运用 CLIMEX 软件与 ArcGIS 软件完成了对蜜柑大实蝇 *Bactrocera (Tetradacus) tsuneonis* (Miyake) (王俊伟等, 2009)、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* L. (梁亮等, 2010)、南松大小蠹 *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (姚剑等, 2011) 在我国的适生性分析, 运用 MaxEnt 与 ArcGIS 软件完成了对锈色棕榈象 *Rhynchophorus ferrugineus* (冯益明和刘洪霞, 2010)、运用 ArcView 软件完成了对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 等在我国的适生性分析 (戴霖等, 2004), 也运用 GARP 与 ArcGIS 软件完成了对欧洲大蚊 *Tipula paludosa* Meig. 在我国的适生性分析 (李涛等, 2012)。

对稻水象甲开展准确的适生性分析和风险评估, 科学预测其潜在的适生区和蔓延趋势, 对于合理制定检疫措施、科学防控有着极其重要的指导意义。目前, 我国已有学者分别运用 CLIMEX、ArcView、MaxEnt 模型对稻水象甲在我国的适生分布范围进行了预测 (龚伟荣等, 2007; 毛志农等, 1997; 齐国君等, 2012), 预测结果一定程度上对我国稻水象甲的科学防控具有重要指导意义。但由于近年来稻水象甲的持续扩散, 其在我国的最新分布范围较以往发生了很大改变, 以往的预测结果已不能完全准确地反映出我国及其局部区域内稻水象甲的最新扩散趋势, 尤其是缺乏新疆荒漠绿洲稻区这一特殊生态环境下的最新适生分析结果。因此, 积极开展基于稻水象甲在新疆荒漠绿洲稻区的最新分

布数据, 系统运用生态位模型对稻水象甲在新疆具体的潜在适生区及扩散趋势与危害风险进行预测评估, 对有效指导该区科学防控该重大外来有害生物有着极其紧迫而又现实的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 稻水象甲分布数据 2014—2015 年, 通过对新疆南北疆 9 地州 28 个县市以及新疆生产建设兵团 5 个师 9 个团场水稻主要种植区的稻水象甲野外分布情况进行调查, 利用 GPS 记录稻水象甲发生地点的地理坐标点, 共获得 41 个新疆分布点数据。此外, 通过查阅国内外公开发表的相关论文, 找到已报道的稻水象甲在我国内地主要发生省区的分布点地理信息, 对其中无详细经纬度信息但又有重要代表性的发生地采用 Google Earth 卫星图定位确定其经纬度, 共获得 22 个分布点数据。再根据 MaxEnt 模型的要求, 将收集到的 63 个分布点信息保存为 CSV 格式的文件, 且按照物种名、分布点的经度、纬度顺序保存。

1.1.2 成虫调查 本文使用的 MaxEnt 软件由 MaxEnt 主页上 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/Max-Ent>) 下载, 其版本为 3.3.3 版。GIS 软件则是美国环境系统研究所公司研发的 ArcGIS 10.2。

1.1.3 基础地理数据 中国矢量地图比例尺为 1:400 万, 从国家基础地理信息系统 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>) 免费下载。

1.1.4 环境变量 环境变量数据来自世界气象数据库 WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>)。该数据库可免费下载世界各地气象站的气候信息采用插值法生成的全球气候数据。本研究选取当前状况 (current conditions) 的 19 个生物气候变量 (bio1 ~ bio19), 上述数据均为 1950—2000 年各环境变量的平均值, 其空间分辨率为 2.5 arcmin, 下载数据文件均为栅格图层格式, 可直接加载到 MaxEnt 模型中使用。各变量详见表 1。

1.2 方法

参数设置: 模型训练方法设定为 auto features, 选中 create response curves、make picture of predictions、do jackknife to measure variable importance, out-put format 设为 logistic, output file type 设为 asc, 其余为默认设置。

表 1 本研究所选取的各生物气候变量信息表
Table 1 Environmental factors used in this study

编号 No.	变量 Variable code	变量名称 Variable name
1	bio1	年平均温 Annual mean temperature
2	bio2	昼夜温差月均值 Monthly mean diurnal temperature range
3	bio3	等温性 Isothermality
4	bio4	温度季节变化的标准差 Standard deviation of temperature seasonal change
5	bio5	最暖月最高温 Max temperature of the warmest month
6	bio6	最冷月最低温 Min temperature of the coldest month
7	bio7	年温的变化范围 Range of annual temperature
8	bio8	最湿季度平均温度 Mean temperature of the wettest quater
9	bio9	最干季度平均温度 Mean temperature of the driest quarter
10	bio10	最暖季度平均温度 Mean temperature of the warmest quarter
11	bio11	最冷季度平均温度 Mean temperature of the coldest quarter
12	bio12	年均降水量 Annual mean precipitation
13	bio13	最湿月降水量 Precipitation of the wettest month
14	bio14	最干月降水量 Precipitation of the driest month
15	bio15	降水量变异系数 CV of precipitation
16	bio16	最湿季度降水量 Precipitation of the wettest quarter
17	bio17	最干季度降水量 Precipitation of the driest quarter
18	bio18	最暖季度降水量 Precipitation of the warmest quarter
19	bio19	最冷季度降水量 Precipitation of the coldest quarter

模型运行:将 63 个稻水象甲分布数据和 19 个环境变量导入 MaxEnt 软件中,随机选取 25%分布点数据作测试集(test data),其余 75%作训练集(training data),选择刀切法(jack-knife)模型中其他参数均为默认值,该模型预测的结果是连续栅格数据,数值在 0~1 之间,输出文件格式为 ASC II 栅格格式。利用 ArcGIS 的格式转化工具(conversion tools)将软件得到的 ASC II 格式文件导入 ArcGIS 软件并转换成 raster 格式,用新疆地州矢量图为底图掩膜抽提,再利用分析工具(analysis tools)的再分类(reclassify)功能对其进行适生等级的划分,选定合适的阈值,在此将稻水象甲适生区分为 4 个等级(齐国君等,2012):高度适生区 ≥ 0.5 、 $0.1 \leq$ 适生区 < 0.5 、 $0.05 \leq$ 低适生区 < 0.1 、非适生区 < 0.05 ,最终得到稻水象甲在新疆的潜在适生分布范围。

2 结果与分析

2.1 稻水象甲在新疆潜在分布区的预测结果

MaxEnt 模型预测结果(图 1)表明,稻水象甲在新疆的适生区主要集中在北疆天山北坡和伊犁河谷一带,以及南疆的阿克苏和克州部分区域。其中,高适生区包括北疆昌吉州中部、伊犁河谷中部和乌鲁木齐北部、博州中部及塔城地区西部的部分区域;适生区包括乌鲁木齐中部、伊犁河谷北部及东部、博州中部及东北部、塔城中部及东部、克拉玛依、阿勒泰南部及中部、吐鲁番西部、哈密中西部、

阿克苏地区中部及西南部和克州东北部的部分区域;低适生区则包括阿勒泰西部及东部部分区域、塔城东北部部分区域、昌吉东部部分区域、吐鲁番中西部及哈密西部部分区域、巴州北部及阿克苏中部部分区域、克州东部及喀什东北部部分区域。

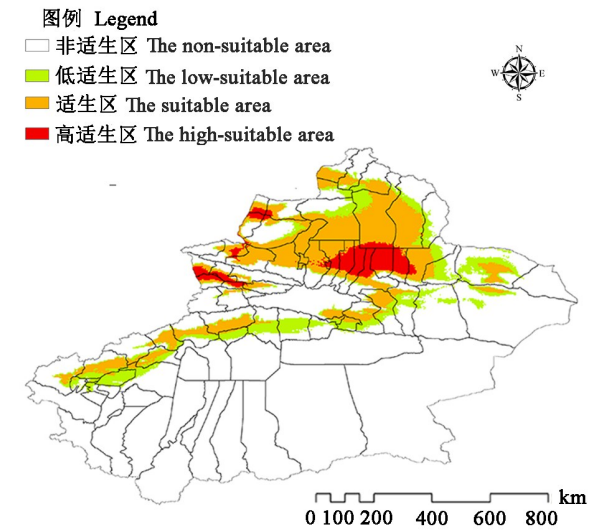


图 1 稻水象甲在新疆潜在分布区预测结果
Fig.1 Predicted potential distribution in Xinjiang of *L. oryzaephilus*

利用 ArcGIS 的空间分析方法统计各级适宜生境面积比例,得到稻水象甲的非适生区占新疆总面积的 79.97%,低适生区占新疆总面积的 7.34%,适生区占新疆总面积的 10.84%,高适生区占新疆总面积的 1.85%。从预测结果来看,稻水象甲的适生

区和高适生区合计占新疆总面积的 12.69%,非适生区和低适生区则占新疆总面积的 87.31%,该重大外来有害生物在新疆的适生区主要集中在北疆天山北坡和伊犁河谷一带,以及南疆阿克苏地区和克州的部分区域。

2.2 MaxEnt 生态位模型的适生性预测精度评价

ROC 曲线被用来对 MaxEnt 生态位模型的适生性预测精度进行评价。AUC 值则作为衡量模型预测准确度的具体指标,其范围为[0,1],取值越大,表明预测效果越好。当 AUC 为 1 时,这表明预测的分布区与物种的实际分布区域完全相符。0.5≤AUC 值<0.6 时,预测结果为不可接受 (fail);0.6≤AUC 值<0.7 时,预测结果为可接受 (poor);0.7≤AUC 值<0.8 时,预测结果为一般 (fair);0.8≤AUC 值<0.9 时,预测结果为较为满意 (good);0.9≤AUC 值<1.0 时,预测结果为非常满意 (excellent);本文对新疆荒漠绿洲稻区稻水象甲适生区预测模型训练集和检验集的 AUC 值具体分别为 0.994、0.981 (图 2)。这表明预测结果非常满意 (excellent)。

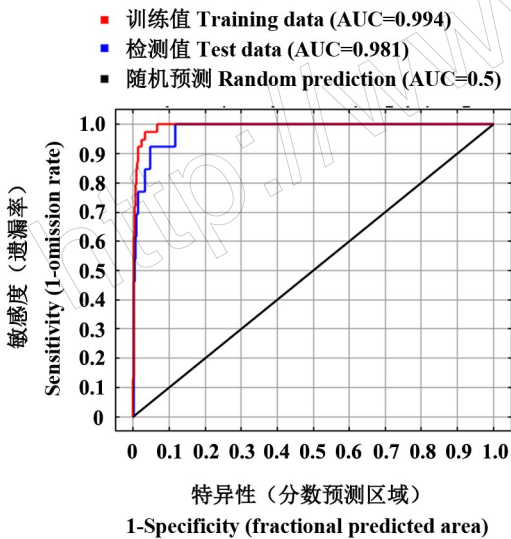


图 2 ROC 曲线图
Fig.2 ROC curve of *L. oryziphilus*

2.3 影响稻水象甲潜在分布区的主导环境因子分析

主导环境因子变量的具体筛选过程为:首先采用刀切法确定最优的环境参数,即依次省略每一个具体的环境变量因子,然后使用其余各变量因子进行建模,再分析缺失环境变量因子与遗漏误差 (omission error) 间的相关性。如果一个环境变量因子的缺失显著导致遗漏误差增大,这表明该环境变量因子对预测模型的结果影响较为显著,故在最终的

模拟中将采用,反之则被剔除。
本研究选取 19 个环境评价因子,完成基于 MaxEnt 模型对稻水象甲在新疆潜在分布区域的建模工作,具体采用刀切法对其中每一个环境变量因子进行缺失分析,以筛选出影响稻水象甲在新疆分布的主要环境因子。由结果 (图 3) 可以看出,年平均温 (bio1)、等温性 (bio3)、最湿季平均温 (bio8)、最暖季的降雨量 (bio18) 和最热月的高温 (bio5) 对稻水象甲的潜在分布影响较大,说明它们是影响稻水象甲分布的主要环境因子。

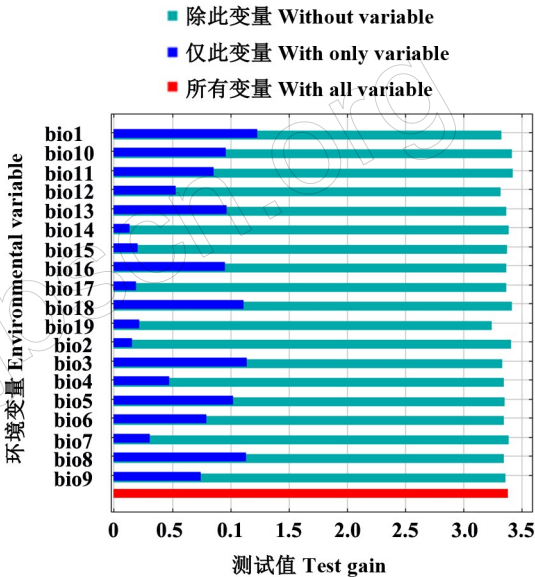


图 3 MaxEnt 生态位模型刀切法测定环境变量的重要性

Fig.3 The importance of variables measured by jack-knife test

3 讨论

目前,世界范围内广泛用于预测物种分布的生态位模型主要有 GARP (the genetic algorithm for rule-set production)、ENFA (ecological niche factor analysis)、BIOCLIM (the bioclimatic prediction system)、DOMAIN (the domain model)、CLIMEX 和 MaxEnt (maximum entropy species prediction model), MaxEnt 模型较其他几种模型,预测的结果精确度更高,其可在物种分布数据较少的情况下也能得到满意的结果 (陈新美等,2012; 王娟娟等,2014)。因此,该模型自 2006 年被创建并发布以来,已被广泛应用于动植物保护 (尤其是濒危物种)、外来种入侵的风险评估等研究领域,被称作是预测物种地理分布最可靠的 3 种技术之一 (贺水莲等,2015)。本研究表明,稻水象甲在新疆的潜在分布区主要集

中在北疆天山北坡和伊犁河谷一带,以及南疆的阿克苏和克州部分区域。利用 ArcGIS 的空间分析方法统计各级适宜生境面积比例,得到稻水象甲的非适生区占新疆总面积的 79.97%,低适生区占 7.34%,适生区占 10.84%,高适生区则仅为 1.85%。这一研究结果在一定程度上细化了之前我国部分学者运用 CLIMEX、ArcView、MaxEnt 模型完成的稻水象甲在我国的适生区分析结果(毛志农等,1997;龚伟荣等,2007;齐国君等,2012)。此外,本文只考虑了温度和降水等气候环境因子对稻水象甲分布扩散的影响,如能再综合考虑寄主、物种自身的生物学特性、种苗物流以及检疫等因素,预测结果将会更准确。

参考文献

- 陈新美,雷渊才,张雄清,贾宏炎,2012. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响. 林业科学, 48(1): 53-59.
- 戴霖,杜予州,张刘伟,周福才,龚伟荣,鞠瑞亭,2004. 西花蓟马在中国的适生性分布研究初报. 植物保护, 30(6): 48-51.
- 冯益明,刘洪霞,2010. 基于 MaxEnt 与 GIS 的锈色棕榈象在中国潜在的适生性分析. 华中农业大学学报, 29(5): 552-556.
- 龚伟荣,杜予州,戴霖,蔡超,刁春友,2007. 稻水象在中国适生性分布的研究. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 28(1): 79-82.
- 郭文超,李晶,魏振兴,吐尔逊,吴静,阿利亚,王俊,2011. 新疆首次发现水稻重大外来有害生物稻水象甲. 新疆农业科学, 48(1): 70-74.
- 贺水莲,孟静,洪明伟,李源,张洵,杨扬,2015. 基于 MaxEnt 软件的忍冬与灰毡毛忍冬的适生分布区预测. 云南农业大学学报, 30(5): 777-783.
- 李涛,何友元,张俊华,陈乃中,杨定,2012. 基于 GARP 的欧洲大蚊在中国的适生性分析. 植物检疫, 26(1): 15-18.
- 梁亮,余慧,刘星月,张俊华,陈乃中,杨定,2010. 苹果蠹蛾在中国的适生性分析. 植物保护, 36(4): 101-105.
- 毛志农,孙汝川,窦学芝,陈宏,周铭,曲桂颖,吴长有,1997. 低湿和低温对稻水象死亡率的影响及稻水象在我国分布范围的初探. 植物检疫, 11(S1): 27-30.
- 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.
- 王娟娟,曹博,白成科,张琳琳,车乐,2014. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价. 植物研究, 34(5): 642-649.
- 王俊伟,李志红,陈洪俊,耿建,王之岭,万方浩,2009. 蜜柑大实蝇在中国的适生性研究. 植物检疫, 23(1): 1-4.
- 王小武,2017. 新疆稻水象甲传播、扩散及防控技术研究. 硕士学位论文. 石河子:石河子大学.
- 姚剑,杜宇,马平,李生贵,蒋小龙,陈雪娇,张萍,李云飞,2011. 基于 CLIMEX 和 GIS 的南松大小蠹在中国的适生性分析. 应用昆虫学报, 48(4): 1017-1023.
- WITTENBERG R, COCK M J W, 2001. *Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices*. Wallingford: CAB International.
- LANGE W H, GRIGARICK A A, 1959. Rice water weevil, beetle pest in rice growing areas of southern states discovered in California. *Agricultural*, 13(8): 10-11.
- LUPI D, JUCKER C, ROCCO A, GIUDICI M L, BOATTIN S, COLOMBO M, 2015. Current status of the rice water weevil *Lissorhoptrus oryzophilus* in Italy: eleven-year invasion. *EPPO Bulletin*, 45(1): 123-127.
- MOHAMMAD-AMIR A, GODFREY L D, 2014. A century of rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae): a history of research and management with an emphasis on the United States. *Journal of Integrated Pest Management*, 5(4): 1-14.

(责任编辑:郑姗姗 郭莹)

<http://www.jbscn.org>