



Risk Analysis of Mongolian *Erannis Jacobsoni* Djak's Invasion into the Inner Mongolia Area

XiaoJun Huang^{1,2,3,4}, Yuhai Bao², Altanchimeg D⁵, Buren⁴, Fumiao¹, Yongmei¹

¹College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

²Key Laboratory of Remote Sensing & Geography Information System, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

³College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

⁴Institute of Natural disaster prevention and Control, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

⁵Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulan Bator, Mongolia

蒙古国雅氏落叶松尺蠖入侵内蒙古地区的风险分析

黄晓君^{1,2,3,4}, 包玉海², Altanchimeg D⁵, 布仁⁴, 付苗¹, 咏梅¹

¹内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010022

²内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022

³兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000

⁴内蒙古师范大学自然灾害防治研究所, 内蒙古 呼和浩特 010022

⁵蒙古国科学院生物研究所, 乌兰巴托 蒙古国

Abstract

Erannis jacobsoni Djak is the most important forest pest in Mongolia and has seriously destructive effect to forest ecological system. It is important to study the invasion risk of Inner Mongolia, which is of great significance for the effective prevention of cross-border disaster. Based on it, firstly, this study discussed the risk of Mongolia *Erannis jacobsoni* Djak spreading into Inner Mongolia; Then using the field survey point data of Mongolia *Erannis jacobsoni* Djak and environmental variables data such as biological climatic factors, altitude, forest, predicted the potential suitable risk areas distribution of this pest in Inner Mongolia by means of maximum entropy(Maxent) niche model and GIS technology. The result shows that: *Erannis jacobsoni* Djak's trend of migration basically tallies with the prevailing direction (form Northwest to Southeast) of airflow in Mongolian Plateau. The port freight volume of Inner Mongolia to Mongolia increased year by year, which will cause the risk of *Erannis jacobsoni* Djak spreading into Inner Mongolia with the flow and wood packing; The pests in Inner Mongolia potential suitable risk areas are mainly distributed in the majority of Aershan city in Xingan League, the south of New Barag Left Banner in Hulunbuir, the middlesouth of Yakeshi, the southwest of Oroqen Autonomous Banner and the south of Evenk Autonomous Banner, of which the largest distribution

area of extremely high and high suitable risk areas in the Aershan city are 40380.21 hectares and 251409.34 hectares respectively. The environmental variables that have important effects on invasion risk of *Erannis jacobsoni* Djak included forest, mean temperature of warmest quarter, annual precipitation, max temperature of warmest month and min temperature of coldest month.

Keywords: *Erannis jacobsoni* Djak; Invasion risk; maximum entropy(Maxent) niche model; environmental variables

摘要

雅氏落叶松尺蠖是蒙古国最主要森林害虫, 对森林生态系统有严重的破坏性, 研究其入侵内蒙古地区的风险性对于有效防止该虫跨境灾害具有重要意义。基于此, 本研究首先探讨了蒙古国雅氏落叶松尺蠖传入内蒙古地区的风险性; 然后利用蒙古国雅氏落叶松尺蠖野外调查点数据和生物气候因子、海拔、森林等环境变量数据, 借助 Maxent 生态位模型与 GIS 技术, 预测了此虫在内蒙古潜在适生风险区分布。研究结果表明: 雅氏落叶松尺蠖迁移趋势与蒙古高原气流盛行方向(西北→东南)基本吻合, 内蒙古对蒙古国口岸的货运量逐年上升, 这将造成雅氏落叶松尺蠖随气流、物流传入内蒙古地区的风险; 害虫在内蒙古潜在适生风险区主要分布在兴安盟阿尔山市大部, 呼伦贝尔市新巴尔虎左旗南部、牙克石市中西部、鄂伦春族自治旗



西南部、鄂温克族自治旗南部等地区，其中阿尔山市的极高和高适生风险区分布面积最大分别为40380.21公顷和251409.34公顷；对雅氏落叶松尺蠖入侵风险有重要影响的环境变量是森林、最暖季度平均温度、年降水量、最热月份最高温度及最冷月份最低温度。

关键词：雅氏落叶松尺蠖；入侵风险；Maxent生态位模型；环境变量

雅氏落叶松尺蠖是一种森林的毁灭性害虫，其幼虫暴食叶和嫩枝，能使整株树死亡。近年来蒙古国雅氏落叶松尺蠖灾害发生面积逐年上升，如2013年7050公顷、2014年24416公顷、2015年38722公顷，森林生态系统受到严重破坏^[1]。蒙古国处于我国上风上水地区，暴发雅氏落叶松尺蠖的肯特山离大兴安岭仅百余公里，两地之间无阻隔害虫的任何天然屏障，具有较高的跨境可能性。另外，雅氏落叶松尺蠖对入侵地区生活环境的适应能力超强，一旦入侵很容易形成优势种，并爆发与扩散，对入侵地区带来严重的生态灾难和巨大的经济损失。目前在我国尚无该虫分布记录，而今后是否入侵应引起人们的关注。

森林病虫害和森林火灾（全球每年发生森林火灾具有几十万次^[2]）是主要威胁森林生态系统的自然灾害。随全球经济贸易的发展，外来森林害虫入侵日益增多，导致森林生态环境恶化。森林害虫入侵风险成为当今人们研究的热点问题之一。一种外来害虫的成功入侵是传入（传播路径多样）→定殖（适生区繁殖）→爆发（入侵区生态系统受破坏）的过程。从森林害虫传入风险研究来看，苗木^[3]、木装箱^[4]、木材^[5]等进口是森林害虫的主要传入途径。另外建立数学模型来分析森林害虫的传入风险，如二维物候模型来预测^[6]、以有害生物入侵历史、口岸拦截数据和进口商品作为影响因子进行预测^[7]、利用概率运输路径矩阵来预测^[8]。从入侵害虫适生风险区预测研究来看，物种分布模型被人们广泛应用，其中Maxent（Maximum Entropy）为较新的物种分布生态位模型，它是美国普林斯顿大学Phillips S J等人^[9]借助Jaynes最大熵理论（一个物种在没有约束的情况下，会尽最大可能扩散蔓延，接近均匀分布），利用JAVA语言编写的预测物种潜在适生区分布模型。与其它模型相比运行速度快、操作简单、预测较准确等优势^[10]，并且在环境因子重要性分析、物种生境模拟、环境因子对物种生境影响分析等方面都具有优越性^[11-14]，从而成为预测外来物种潜在适生区的首选模型^[15]。近年来利用MaxEnt模型成功预测非洲橘硬蚱、松材线虫、葡萄根瘤蚜在中国的潜在适

生区分布^[16-18]。

对蒙古国雅氏落叶松尺蠖入侵内蒙古地区的风险问题，笔者首先以害虫传播路径为切入点分析了害虫的传入风险，然后采用Maxent生态位模型结合GIS技术，预测在内蒙古地区不同风险性的适生区分布，以期引起我国相关部门的高度重视，采取适当措施防止雅氏落叶松尺蠖的入侵。

1. 材料与方法

1.1 数据与处理

本研究所用主要数据：①蒙古国雅氏落叶松尺蠖分布点数据（334个点位），是蒙古国科学院生物研究所和生态研究所在蒙古国抗爱-肯特山脉开展的雅氏落叶松尺蠖野外调查点；②19个生物气候变量（Bio1~Bio19）和海拔（Altitude）数据，其空间分辨率为30second（0.9Km左右），可从全球气候数据（WorldClim-Global Climate Data）网站（<http://www.worldclim.org/>）获得，它是根据1950~2000观测所得数据经过处理，描述生物气候和海拔信息；③2010年蒙古高原MODIS三级土地覆盖类型数据（MCD12Q1，空间分辨率为500m，共11景），可从美国国家航空航天局相关网站（http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle）免费下载，它是根据一年的Terra和Aqua观测所得的数据经过处理，描述土地覆盖的类型；④2010年蒙古国森林分布矢量数据，由蒙古国生物研究所提供；⑤2010年内蒙古植被类型栅格数据，由国家科技基础条件平台获取；⑥1945~2010年月平均海平面气压数据，从美国国家海洋和大气管理局的气象数据共享平台获取；⑦2003~2012年内蒙古与蒙古国的货运量以及贸易额数据，由内蒙古口岸办公室提供。

借助ArcGIS、ENVI及Excel软件，对以上数据进行预处理：对生物气候变量、海拔数据进行裁剪、数据格式转换（GRID→ASCII）；对雅氏落叶松尺蠖分布点数据进行整理（由物种名、分布点经度及纬度等三个字组成的CSV格式文件）；蒙古高原土地覆盖类型数据、蒙古国森林分布矢量数据和内蒙古植被类型栅格数据相结合，利用矢量化和数据转换方法，获得蒙古高原森林分布栅格图；对海平面气压月平均数据进行裁剪与数据格式转换（NC→TIFF），再求多年平均海平面气压，最后根据气流的高压流向低压规律得到气流方向。

1.2 研究方法

笔者运用定量与定性相结合的方式，从内蒙古与蒙古国经济贸易往来、蒙古高原气流特征及蒙古国雅氏落叶松尺蠖历史分布及其迁移趋势等方面做了阐述，并对蒙古国雅氏落叶松尺蠖传入内蒙古地区的风险性进行了分析。在此基础上，采用 Maxent 生态位模型对蒙古高原雅氏落叶松尺蠖在内蒙古地区适生风险区分布进行了预测。

Maxent 生态位模型以环境变量数据（生物气候变量、海拔、森林，见表 1）和已知雅氏落叶松尺蠖分布点数据为输入变量，利用数学归纳或模拟其生态位需求，获得害虫适生风险指数（概率，取值 0~1），并预测潜在适生风险区分布，适生风险指数越高害虫在该地区的适生性越好。在 Maxent 生态位模型预测时，从已知害虫分布点随机选取 80% 的训练数据集，20% 的验证数据集，采用受试者工作特征曲线（ROC 曲线，receiver operating characteristic curve,）分析法来评定模型预测精度，利用刀切法（jackknife）来分析各环境变量对雅氏落叶松尺蠖适生影响的重要性。Maxent 生态位模型预测之后，根据适生风险指数值大小，运用 ArcGIS 软件平台的空间分析功能对适生区进行风险等级划分。

表 1 环境变量数据说明

环境变量名称	说明	环境变量名称	说明
bio1	年平均温度	bio12	年降水量
Bio2	昼夜温差月均值	bio13	最湿月份降水量
Bio3	昼夜温差与年温差比值	bio14	最干月份降水量
Bio4	温度变化方差	bio15	降水量变化方差
Bio5	最热月份最高温度	bio16	最湿季度降水量
Bio6	最冷月份最低温度	bio17	最干季度降水量
Bio7	年气温变化范围	bio18	最暖季度降水量
Bio8	最湿季度平均温度	bio19	最冷季度降水量
Bio9	最干季度平均温度	alt	海拔
bio10	最暖季度平均温度	forest	森林
bio11	最冷季度平均温度	-	-

2. 结果与分析

2.1 蒙古国雅氏落叶松尺蠖传入内蒙地区的风险性

2.1.1 蒙古高原气流促进害虫传入内蒙古地区的风险性

在很大程度上，气流方向对雅氏落叶松尺蠖的迁移起到关键作用，在气流驱动力的作用下，害虫将沿气流方向移动，气流速度与强度越大迁移越明显。从蒙古高原多年平均海平面气压来看，气流盛行方向为由西北至东南，与蒙古西伯利亚冬季风方向相一致（见图1）。由此可见，雅氏落叶松尺蠖具有随气流迁移到内蒙古大兴安岭地区的风险。

雅氏落叶松尺蠖历史分布及其迁移与蒙古高原气流方向相吻合。1926年前苏联学者Djakonov在俄罗斯南西伯利亚地区首次发现雅氏落叶松尺蠖^[19]。1929年前苏联Kozlov在蒙古国扎布罕省罕塔山也发现了该虫^[20]。1959~1960年在蒙古国杭爱山脉落叶松林首次成灾，到1970~1972年在库苏古尔东北部、杭爱山脉东北部、肯特山南部又发生灾害^[21]。1988~1989年在肯特山东北部成灾^[22]。2013~2014年蒙古国科学院生物研究所和生态研究所对雅氏落叶松尺蠖的野外调查显示，该虫在蒙古国主要分布在杭爱山、肯特山林区。总而言之，自20世纪20年代以来，雅氏落叶松尺蠖分布大致呈由西北向东南迁移态势，说明此结果的产生与蒙古高原气流方向有着密切关系，两者方向基本一致（见图1、图2）。

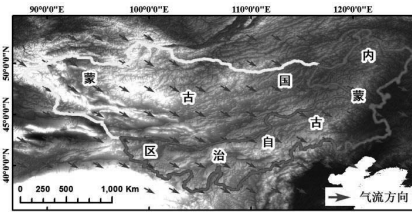


图1 蒙古高原气流方向

2.1.2 内蒙古与蒙古国经济贸易加剧害虫入侵风险性

内蒙古对蒙古国开放的口岸有9个，与蒙古国之间具有密切的经济贸易往来。当从蒙古国至内蒙古货运时，雅氏落叶松尺蠖可随木装箱、木材传入内蒙古地区的风险性很大。因此，雅氏落叶松尺蠖的传入他国



图2 雅氏落叶松尺蠖分布及迁移趋势

与贸易往来也有着密切关系。本研究对2003~2012年内蒙古与蒙古国贸易往来数据进行整理后,结果显示:内蒙古对蒙古国各口岸的货运总量逐年上升,平均每年增加速度为324.71吨/年(见图3);内蒙古与蒙古国之间贸易额逐年上升,其中进口贸易额比出口更明

显,进口贸易额平均每年增加速度为3.0643亿美元(见图4)。可见,内蒙古与蒙古国经济贸易往来呈逐年上升态势,必将导致蒙古国进口木装箱数量的猛增,这对雅氏落叶松尺蠖随物流途径传入内蒙古地区增加了风险性。

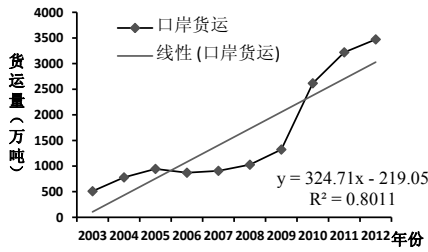


图3 内蒙古对蒙古国各口岸的货运总量

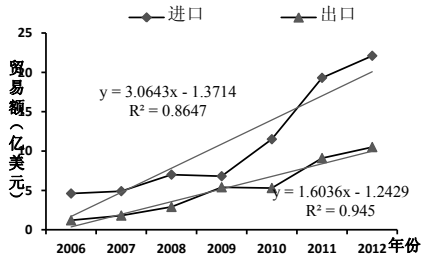


图4 内蒙古对蒙古国贸易额

2.2 蒙古国雅氏落叶松尺蠖在内蒙古地区适生风险性分析

2.2.1 害虫在内蒙古地区潜在适生风险区预测及其精度评定

为分析蒙古国雅氏落叶松尺蠖在内蒙古地区潜在适生风险性，从水分、海拔、温度和植被等基本环境要素中选取了21个环境变量，利用Maxent生态位模型模拟了害虫适生风险指数，其值表征害虫潜在适生风险的概率，适生风险指数越高潜在适生风险的概率也就越大，反之亦然。在模拟适生风险指数的基础上，通过AacGIS软件空间分析功能，利用自然断点分级法(Natural Breaks)对适生风险指数进行重分类，获得5个适生风险区，即极高适生风险区、高适生风险区、中适生风险区、低适生风险区和非适生区(见图5)。从空间分布来看，蒙古国雅氏落叶松尺蠖在内蒙古潜在适生风险区主要分布在兴安盟阿尔山市大部，呼伦贝尔市新巴尔虎左旗南部、牙克石市中南部、鄂伦春族自治州旗西南部、鄂温克族自治旗南部等地区；从适生风险区面积来看：①极高适生风险区：阿尔山所占面积最大(40380.21公顷)，其次新巴尔虎左旗(8586.60公顷)，次之牙克石市(2552.77公顷)，鄂伦春族自治旗最低(1547.13公顷)；②高适生风险区：阿尔山所占面积最大(251409.34公顷)，其次新巴尔虎左旗(36202.94公顷)，次之牙克石市(19725.96公顷)，鄂温克族自治旗和鄂伦春族自治旗最低(分别为17250.55公顷和12145.01公顷)；③中适生风险区：鄂温克族自治旗所占面积最大(175677.11公顷)，其次阿尔山市(151696.53公顷)，次之新巴尔虎左旗(101646.73公顷)，牙克石市和鄂伦春族自治旗最低(分别为55851.55公顷和38987.79公顷)；④低适生风险区：牙克石市所占面积最大(694508.63公顷)，其次鄂温克族自治旗(346712.82公顷)，次之阿尔山市(212498.91公顷)，鄂伦春族自治旗和新巴尔虎左旗最低(分别为205691.52公顷和156724.71公顷)。以上结果表明，内蒙古大兴安岭中南部林区必备了雅氏落叶松尺蠖生活环境条件，完全能够满足害虫定殖及爆发，从而蒙古国此虫一旦传入内蒙古大兴安岭地区后果不堪设想。

为评定Maxent生态位模型的预测精度，利用ROC曲线分析法，以假阳性率(特异度，实际没有该物种分布而被预测为阳性的概率)为横轴、真阳性率(敏感度，实际有分布且预测为阳性的概率)为纵轴绘制ROC曲线，曲线与横轴围成的面积为AUC值(Area Under

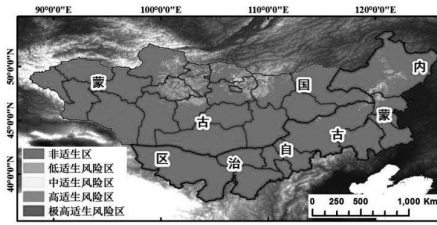


图5 雅氏落叶松尺蠖适生风险区分布

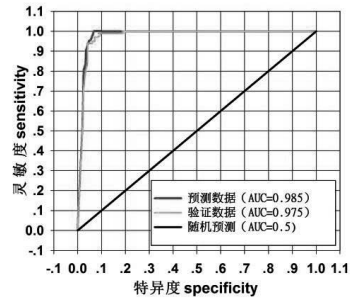


图6 ROC曲线及AUC值

Curve, 值0~1), AUC值能够评价模型预测的优劣, 其值越大模型预测精度越高。具体评定标准为: 0.9<AUC<1.0, 预测精度极好; 0.8<AUC<0.9, 预测精度好; 0.7<AUC<0.8, 预测精度一般; 0.6<AUC<0.7, 预测精度较差; AUC<0.6, 预测失败。本研究获得的训练数据集和验证数据集的AUC分别为0.985和0.975(见图6)。结果表明, Maxent生态位模型预测的雅氏落叶松尺蠖在内蒙古地区潜在适生风险区分布是具有较高的可信度。换言之, 雅氏落叶松尺蠖完全适合在内蒙古大兴安岭地区定殖。

2.2.2 环境变量对害虫潜在适生风险区的影响

本研究选取的21个环境变量, 对雅氏落叶松尺蠖潜在适生风险性产生不同程度的影响。有的环境变量在害虫适生风险区预测中具有主导作用, 而有的作用不明显。为分析环境变量的重要性, 利用刀切法检验获得各环境变量在适生风险区预测中的贡献率, 贡献率越高当前环境变量越重要, 对适生风险区影响越大(见图7)。结果显示, 在众多环境变量中有5个变量对预测结果的贡献率超过5%, 即最高为森林(forset, 45.65%), 其次为最暖季度平均温度(bio10, 11.24%), 次之为年降水量(bio12, 7.86%)和最热月份最高温

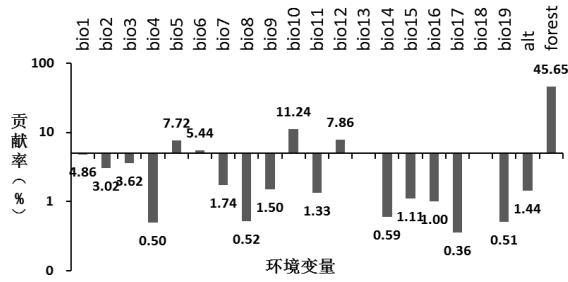


图7 环境变量贡献率

度 (bio5, 7.72%), 最低为最冷月份最低温度 (bio6, 5.44%)。以上5个环境变量贡献率已达到77.91%, 因此, 它们是雅氏落叶松尺蠖适生风险区的主要环境因素, 在Maxent生态位模型的预测中发挥了关键作用。

3. 结束语

对蒙古国雅氏落叶松尺蠖入侵内蒙古地区的风险, 笔者从传入内蒙古的途径和预测适生风险区两个方面进行了探讨。首先通过雅氏落叶松尺蠖历史分布及其迁移趋势与蒙古高原气流盛行方向的关系、内蒙古与蒙古国经济贸易关系, 对蒙古国雅氏落叶松尺蠖传入内蒙古地区的风险进行了分析, 结果表明: 此虫历史分布及其迁移趋势与蒙古高原气流盛行方向 (西北→东南) 基本吻合, 内蒙古与蒙古国经济贸易往来逐年逐年升温 (两地之间货运总量逐年上升, 进出口贸易额逐年增加), 这将造成雅氏落叶松尺蠖随气流、物流传入内蒙古地区的风险。然后借助Maxent生态模型与ArcGIS软件平台, 预测蒙古国雅氏落叶松尺蠖在内蒙古地区潜在适生不同等级风险区分布, 并利用ROC曲线对预测结果进行了精度评定, 结果显示: ①从适生风险区空间分布来看, 主要分布在兴安盟阿尔山市大部、呼伦贝尔市新巴尔虎左旗南部、牙克石市中南部、鄂伦春族自治旗西南部、鄂温克族自治旗南部等地区; ②从潜在适生区不同风险等级来看, 极高和高适生风险区在阿尔山市分布面积最大, 分别为40380.21公顷、251409.34公顷。③从ROC曲线来看, 训练数据集和验证数据集的AUC分别为0.985和0.975, 说明本次预测精度具有较高的可信度。④从环境变量对雅氏落叶松尺蠖发生的影响程度来看, 对入侵风险具有重要影响的环境变量为森林 (45.65%)、最暖季度平均温度 (11.24%)、年降水量 (7.86%)、最热月份最高温度 (7.72%) 及最冷月份最低温度 (5.44%) 等。

综上所述, 蒙古国雅氏落叶松尺蠖具有随气流、物流传入内蒙古地区的风险, 并且一旦入侵将会定殖及爆发, 而破坏大兴安岭森林生态系统, 威胁我国北方生态屏障安全, 以期应引起我国有关防灾防疫管理部门的关注, 趁早采取有效措施制止蒙古国雅氏落叶松尺蠖的入侵是至关重要。

Acknowledgements

This study was supported by National Natural Science Fund (No.61550005), National "Twelfth Five-Year" Plan Project for Science and Technology Support (No.2013BAK05B01), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (lzujbky-2016-242).

致谢

本研究得到了国家自然科学基金 (61550005), 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2013BAK05B01), 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金 (lzujbky-2016-242) 的资助。

4. 参考文献

- [1] БОНХАЖЯ-НЫ ОСХТ-ийн ойн хөнөөлт шавжийн тархалт голомт тогтоох судалгааны тайлан. 2015.
- [2] Xinghua Li, Wenjie Wu, Dibo Lv, et al. Research on Risk Assessment and Regionalization of Forest and Grassland Fires. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2012, 2 (1): 69-77.
- [3] Liebhold A M, Brockerhoff E G, Garrett L J, Parke J L and Britton K O. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of

Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

- the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2010,10: 135-143.
- [4] 万方浩,冯洁,徐进.生物入侵:检测与监测篇.北京:科学出版社,2011.
- [5] Piel F, Gilbert M, De Canniere C and Gregoire J C. Coniferous round wood imports from Russia and Baltic countries to Belgium. A pathway analysis for assessing risks of exotic pest insect introductions. *Diversity & Distributions*, 2008,14: 318-328.
- [6] Gray D R. Hitchhikers on trade routes: a phenology model estimates the probabilities of gypsy moth introduction and establishment. *Ecological Applications*, 2010, 20: 2300-2309.
- [7] Koch F H, Yemshanov D, Colunga-Garcia M, Magarey R D and Smith W D. Potential establishment of alien-invasive forest insect species in the United States: where and how many? *Biological Invasions*, 2011,13: 969-985.
- [8] Yemshanov D, Koch F H, Ducey M and Koehler K. Trade-associated pathways of alien forest insect entries in Canada. *Biological Invasions*, 2012,14: 797-812.
- [9] Phillips S J, Dudik M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning, ACM*, 2004:83.
- [10] Ortega-Huerta M A, Peterson A T. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods modelado de nichos ecológicos y predicción de distribuciones geográficas: comparación de seis métodos. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 2008 (1): 205-216.
- [11] 王运生, 谢丙炎, 万方浩等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. *生物多样性*, 2007, 15(4):365-372.
- [12] Elith J, Phillips SJ, Hastie T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity & Distributions*, 2011,17: 43-57.
- [13] 李国庆, 刘长成, 刘玉国等. 物种分布模型理论研究进展. *生态学报*, 2013,33(16): 4827-4835.
- [14] Padalia I, Srivastava V, Kushwaha SPS. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecological Informatics*, 2014,22: 36-43.
- [15] 李明阳, 居云为. 美国大陆外来入侵物种斑马纹貽贝 (*Dreissena polymorpha*) 潜在生境预测模型. *生态学学报*, 2008,28(9):4253-4258.
- [16] 王茹琳, 高晓清, 王闰利等. 基于 MaxEnt 的非洲橘硬蓟马在全球及中国的潜在分布区预测. *中国农学通报*, 2014,30(28):315-320.
- [17] 韩阳阳, 王焱, 项杨等. 基于 Maxent 生态位模型的松材线虫在中国的适生区预测分析. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2015,39 (1): 6-10.
- [18] 张颖, 章超斌, 郝建华等. 入侵害虫葡萄根瘤蚜在中国的潜在适生区预测. *生态学杂志*, 2015, 34(7):1986-1993.
- [19] Djakonov A. Einige neue und wenig bekannte Arten und Gattungen der palaear [tischen Heteroceren (Lepidoptera)]. // *Ann. mus. Zool. Ac. sc. U. RSS*. 1926, Bd. 27, H. 2-3, S. 219-232.
- [20] Вийдалеп (Viedalep) Я.К фауне пядениц (Lepidoptera, Geometridae) Монгольской Народной Республики. *Насекомых Монголии*, 1975, 3: 438-490, Ленинград.
- [21] Яновский, В.М. 1979. Эколого-фаунистическая оценка дендрофильных насекомых МНР// *Фауна лесов бассейна озера Байкал*. Новосибирск: Наука. 78-92.
- [22] Цагаанцоож, Н. 2003. Якобсоны төөлүүрч эрвээхэйн (*Egannis jacobsoni* Djak) биологи, экологийн онцлог (Богдхан уулын жишээн дээр) Биологийн Ухааны докторын зэрэг горилсон бүтээл. Улаанбаатар.