

# 外来入侵甜菜孢囊线虫在新疆的适生性分布及风险评估

高海峰<sup>1</sup>, 彭 焕<sup>1,2</sup>, 乔精松<sup>2,3</sup>, 彭德良<sup>2</sup>, 杨安沛<sup>1</sup>, 吴 伟<sup>4</sup>,  
张 航<sup>1</sup>, 白微微<sup>1</sup>, 王锁牢<sup>1</sup>, 李广阔<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>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/农业部库尔勒作物有害生物科学观测实验站,新疆 乌鲁木齐 830091; <sup>2</sup>中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室,北京 100193; <sup>3</sup>云南农业大学,国家农业生物多样性应用技术工程研究中心,云南 昆明 650201; <sup>4</sup>新疆维吾尔自治区新源县农业技术推广站,新疆 新源 835800

**摘要:**【目的】甜菜孢囊线虫是世界性的重要进境检疫性有害生物,每年造成严重的经济损失。甜菜是新疆重要的优势经济作物,总产量占全国总产量一半以上。对新疆开展甜菜孢囊线虫适生性分析及风险评估,旨在为我区重大外来有害生物的科学预警及防控提供指导。【方法】采用 BIOCLIM 模型对甜菜孢囊线虫在新疆的具体潜在分布区进行预测,并采用多指标赋值运算,对其入侵的风险进行定量分析。【结果】甜菜孢囊线虫在新疆荒漠绿洲区的适生区域主要集中在阿勒泰市、塔城、博乐市、伊犁州、乌鲁木齐市、昌吉州、库尔勒市、阿克苏乌什县和拜城县和哈密市的巴里坤哈萨克族自治县。甜菜孢囊线虫的危险性综合评估风险值  $R$  为 2.397,属于高度危险等级。【结论】新疆主要甜菜种植区为甜菜孢囊线虫的高度适生区,需要高度重视,其预测结果为建立甜菜孢囊线虫长效预警与防控机制提供必要的理论基础。

**关键词:** 甜菜孢囊线虫; 适生区; 风险评估; 新疆

## Potential geographic distribution and risk analysis of alien invasive species sugar beet cyst nematode *Heterodera schachtii* in Xinjiang Uygur Autonomous Region

GAO Haifeng<sup>1</sup>, PENG Huan<sup>1,2</sup>, QIAO Jingsong<sup>2,3</sup>, PENG Deliang<sup>2</sup>, YANG Anpei<sup>1</sup>, WU Wei<sup>4</sup>,  
ZHANG Hang<sup>1</sup>, BAI Weiwei<sup>1</sup>, WANG Suolao<sup>1</sup>, LI Guangkuo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture/Scientific Observing and Experimental Station of Korla, Ministry of Agriculture, Urumqi, Xinjiang 830091, China; <sup>2</sup>State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; <sup>3</sup>The National Engineering Research Center of Agrobiodiversity Applied Technologies, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; <sup>4</sup>Agricultural Technology Extension Service Center of Xinyuan County, Xinyuan, Xinjiang 835800, China

**Abstract:** 【Aim】*Heterodera schachtii* is the most important quarantine pest worldwide of beets, causing serious annual yield losses. *H. schachtii* is an important cash crop in Xinjiang, and its yield accounts for more than half of the total national output. The purpose of this study is to provide guidance for scientific early warning and control by analyzing and predicting the potential geographic distribution and risk assessment of *H. schachtii* in Xinjiang. 【Method】BIOCLIM model was used to predict the potential distribution of *H. schachtii* in Xinjiang, and multi-index assignment was used to analyze the risk of invasion. 【Result】Altay, Tacheng, Bole, Ili, Urumqi, Changji, Korla, Aksu, Wushi, Baicheng and Balikun Kazakh Autonomous Counties in Xinjiang were suitable areas for the

收稿日期 (Received): 2019-07-29 接受日期 (Accepted): 2019-08-30

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支撑项目(2017E0253); 国家重点研发专项项目(2016YFC1201200); 新疆高层次人才引进项目; 糖料现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS170307)

作者简介: 高海峰, 男, 副研究员。研究方向: 外来有害生物监测预警及防控, 农作物病虫害综合治理。E-mail: ghf20044666@163.com

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: 1448832764@qq.com

occurrence of *H. schachtii*. The comprehensive risk assessment value of this nematode was 2.397, belongs to the high-risk level. 【Conclusion】 *H. schachtii* could occur at the major sugar beet growing areas of Xinjiang with the high-risk. The results provide the necessary theoretical basis for establishing a long-term early warning and control mechanism of *H. schachtii*.

**Key words:** *Heterodera schachtii*; potential geographic distribution; risk analysis; Xinjiang

甜菜孢囊线虫 *Heterodera schachtii* Schmidt 是世界重要的检疫性有害生物,对甜菜具有毁灭性危害(中华人民共和国农业农村部,2007)。1850年德国首次报道该线虫(Franklin & Heterodera, 1972)。到目前为止,该线虫已在全世界的美洲、欧洲、亚洲等50多个国家或地区有分布,22个国家将该线虫列为检疫对象(Steele, 1984)。甜菜孢囊线虫是甜菜上危害最严重的病原生物之一,可导致甜菜产量损失25%~50%,严重侵染时损失更大。19世纪下半叶,在欧洲严重危害甜菜,导致大幅减产,对欧洲甜菜生产造成毁灭性破坏,许多糖厂倒闭(Müller, 1999)。甜菜孢囊线虫寄主范围广泛,包括23个科95个属的218种植物,对甜菜、油菜、白菜、菠菜等农作物造成严重的经济损失(Steel, 1965)。研究表明,当土壤中该线虫幼虫的群体密度达到每克土18条时,可使菠菜减产40%,甘蓝减产35%,大白菜减产24%(Steel, 1965)。在欧洲,每年由该线虫造成的经济损失已经超过了9000万欧元(Müller, 1999)。在德国西部地区,甜菜种植面积达44万 $\text{hm}^2$ ,其中每年有超过10万 $\text{hm}^2$ 甜菜受该线虫危害,产量损失达每公顷5~35 t,严重威胁当地甜菜种植和制糖业的发展(Müller, 1999)。

印度曾从种子和土壤中8次截获到含活性卵的孢囊,从受污染的种子样品中检出3次(李建中等,2008)。在我国,还未见到在港口或植物繁殖材料上截获该线虫的记录。随着经济全球化和我国“一带一路”战略的实施,人员交流和国际贸易日益频繁。我国每年从甜菜孢囊线虫疫区进口大量的甜菜种子和加工原料,因此该线虫随加工原料和进口种子的杂质传入的风险极高(李建中等,2008)。

甜菜是新疆重要的优势经济作物,新疆总产量占全国总产量一半以上,是我国北方最大的甜菜糖制糖基地(韩秉进和朱向明,2016)。发展甜菜生产及其制糖业,对新疆种植业结构调整及畜牧业发展、增加地方财政和农民收入具有积极的促进作用。目前,甜菜孢囊线虫在新疆周边接壤的哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦等国家均有发生(Steel, 1984),所以存在入侵新疆地区的高度风险。

鉴于此,为了避免甜菜孢囊线虫在新疆大面积危害和扩散,提前利用分析模型开展甜菜孢囊线虫在新疆地区的适生性分析,可为新疆甜菜的合理种植和风险管理提供参考。

李建中等(2008)采用MaxEnt与GARP 2种生态位模型对甜菜孢囊线虫传入我国的适生区进行了预测。结果表明,该线虫可在我国17个省市生存,我国新疆西部、内蒙古南部、河北中南部、山西东北部、宁夏、甘肃北部是该线虫入侵的高风险区。该研究主要对甜菜孢囊线虫在全国的适生区进行了预测,其研究结果在新疆地区的范围过于模糊,无法做到精准预测,对在新疆地区开展该线虫的预防和监测指导意义有限。因此,本文采用DIV-GIS中BIOCLIM模型结合甜菜指定种植区域对外来入侵甜菜孢囊线虫在新疆的具体潜在分布区进行预测,并采用多指标赋值运算,分析其入侵的风险,从而为新疆地区甜菜孢囊线虫的预警与防控提供必要的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 软件和地图来源

DIVA-GIS软件从<http://www.diva-gis.org>网站免费下载;GIS软件采用Arc/INFO v9.0,由中国科学院生态研究中心提供。中国地图来自国家基础地理信息系统(National Fundamental Geographic Information System, NFGIS),<http://nfgis.nsd.gov.cn/>。

### 1.2 甜菜孢囊线虫发生分布数据获得

甜菜孢囊线虫的全球发生和分布GPS信息主要从CABI网站查找下载,同时查阅国内外公开发表的相关文献和Global Biodiversity Information Facility等物种分布数据库,部分没有详细经纬度的发生点根据地点在地名数据库(Geographic Names Database, GNDB)查找相应的经纬度,并保存成EXCEL格式。

### 1.3 BIOCLIM 预测

本文使用的环境数据是广泛应用于生态位模型预测的全球气候数据集(WORLDCLIM)中的19个生物气候。使用环境数据集的空间分辨率为2.5

min。数据从全球气候数据库 (<http://www.worldclim.org>) 下载。参考邱靖等 (2018) 的方法, 随机选取发生分布点 75% 的数据作为训练点集, 剩下 25% 的物种分布点和随机选取 10 倍于物种分布点的背景点作为测试点集进行模型验证, 重复 3 次, 生成 2 个矢量数据图层: 训练集图层和测试集图层。在 BIOCLIM 分析界面, 将训练集图层和由 19 个生物气候建立的图栈导入 DIVAGlobal Biodiversity Information FacilityGIS, 将空间分析范围选为最大范围, 运行软件得出全球气候条件下适生区数据, 将得到的适生区数据 ESRI ASC II 格式, 调入 ArcGIS 进行地图处理。将 ESRI ASC II 格式的适生数据转化为 shp 格式文件后, 加入甜菜的种植区域数据 (刘勇等, 2002), 通过图层运算器与新疆的栅格地图数据进行叠加处理, 根据在原产地的危害程度划分适生等级, 得到基于 BIOCLIM 获得的区域适生范围。

### 1.4 甜菜孢囊线虫风险性评估

参照蒋青等 (1995) 建立的有害生物风险性评

估体系, 对其中的一级指标包括国内分布情况、潜在危害性、受害寄主的经济重要性、传入可能性和风险管理的难度进行风险性定性分析。采用多指标综合评估方法。对 15 个二级指标进行赋分, 通过公式计算出 5 个一级指标 (只) 的数值, 国内分布情况  $P_1$ , 潜在的经济危害性  $P_2 = 0.6P_{21} + 0.2P_{22} + 0.2P_{23}$ , 寄主植物的经济重要性  $P_3 = \max(P_{31}, P_{32}, P_{33})$ , 传播可能性  $P_4 = \sqrt[5]{(P_{41} \times P_{42} \times P_{43} \times P_{44} \times P_{45})}$ , 危险性管理难度  $P_5 = (P_{51} + P_{52} + P_{53}) / 3$ 。最终计算出甜菜孢囊线虫的危险性综合评估风险值  $R = \sqrt[5]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 甜菜孢囊线虫的已知分布点

根据文献检索和 CABI 网站的数据, 一共获得 90 个甜菜孢囊线虫的发生国家和地区用于本研究预测 (图 1)。

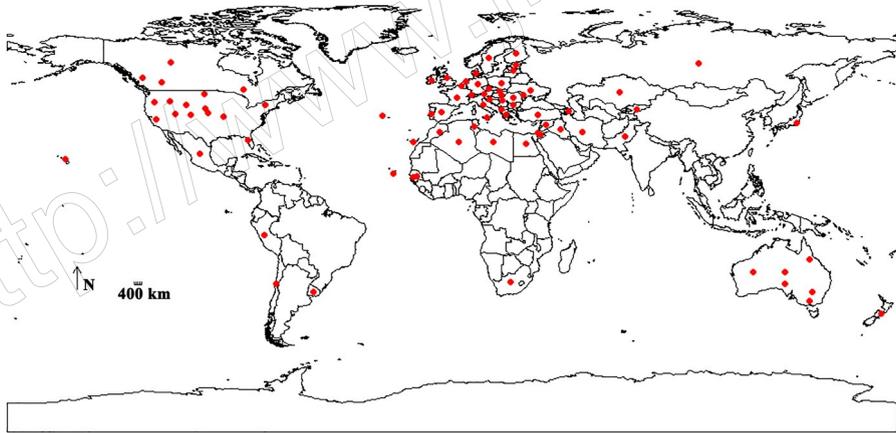


图 1 甜菜孢囊线虫在全球的分布  
Fig.1 Global distribution of *H. schachtii*

### 2.2 BIOCLIM 预测甜菜孢囊线虫在新疆的适生区

采用 BIOCLIM 模型对甜菜孢囊线虫在新疆的潜在分布进行了预测, 结果在地理信息系统中进行分级 (图 2)。结果表明, 在北疆的阿勒泰、塔城、博乐市、伊犁州、克拉玛依市、乌鲁木齐市、昌吉州、库尔勒、阿克苏西北部和哈密市西部为甜菜孢囊线虫适生区。

### 2.3 甜菜孢囊线虫适生区优化

将 BIOCLIM 预测甜菜孢囊线虫在新疆的适生区和新疆主要甜菜的种植区域数据叠加处理后, 获得甜菜孢囊线虫在新疆的最终适生范围 (图 3)。

加入寄主因素后, 甜菜孢囊线虫在新疆的适生区有一定范围的缩小, 其中克拉玛依市从适生区变为非适生区, 适生范围主要包括阿勒泰市、塔城、博乐市、伊犁州、乌鲁木齐市、昌吉州、库尔勒市、阿克苏乌什县和拜城县和哈密市的巴里坤哈萨克族自治县。其中高度适生区为伊犁州新源县、尼勒克县中部、巩留县、霍城县、伊宁县和察布查尔锡伯自治县、塔城市西部、博乐市、温泉县东部、阿尔泰市中部、福海县中部、乌鲁木齐市中部、昌吉市南部等地区。中度适生区为阿克苏的乌什县、拜城县, 伊犁州昭苏县北部、特克斯县北部、博乐市温泉县中西

部、精河县西部、博乐市东北部、乌鲁木齐市北部、塔城市额敏县、阿尔泰市大部、布尔津县、福海县大部、昌吉市北部、呼图壁县、玛纳斯县北部、奇台县

中部、木垒哈萨克族自治县南部、库尔勒市和静县、乌苏市沙湾县。

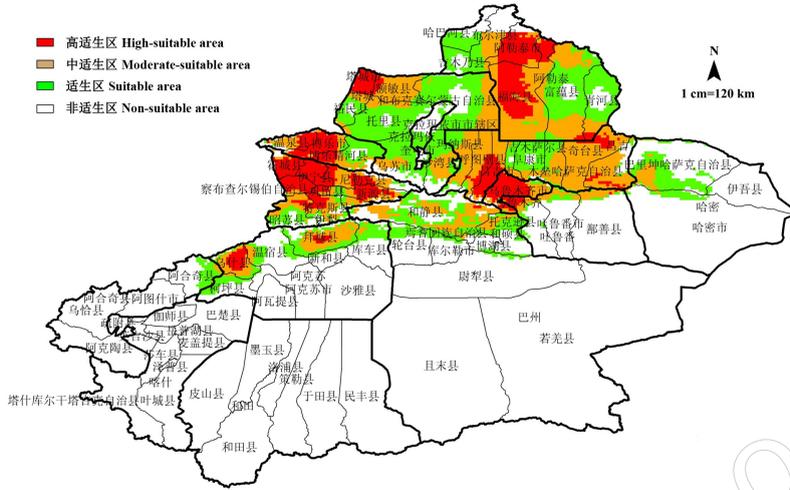


图 2 BIOCLIM 预测甜菜孢囊线虫在新疆的分布  
Fig.2 The potential distribution of *H. schachtii* in Xinjiang by BIOCLIM model

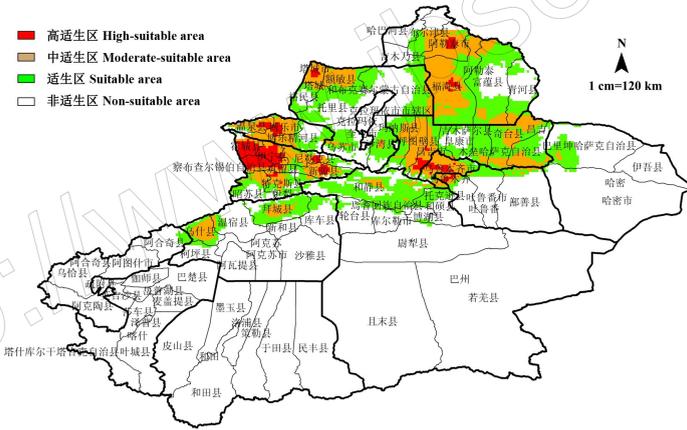


图 3 甜菜孢囊线虫适生区的优化结果  
Fig.3 Optimum results of the potential distribution for *H. schachtii* in Xinjiang based on BIOCLIM

### 2.4 甜菜孢囊线虫入侵新疆风险定量分析

根据甜菜孢囊线虫在国内分布情况、潜在危害性、受害寄主的经济重要性、传入可能性和风险管理的难度等 5 个一级指标、15 个二级指标进行赋分 (表 1), 通过公式计算得出 5 个一级指标 (只) 的数值, 国内分布情况  $P_1 = 2$ , 潜在的经济危害性  $P_2 = 0.6$   
 $P_{21} + 0.2P_{22} + 0.2P_{23} = 2.4$ , 寄主植物的经济重要性  $P_3 = \max(P_{31}, P_{32}, P_{33}) = 3$ , 传播可能性  $P_4 = \sqrt[5]{P_{41} \times P_{42} \times P_{43} \times P_{44} \times P_{45}} = 2.048$ , 危险性管理难度  $P_5 = (P_{51} + P_{52} + P_{53}) / 3 = 2.67$ 。最终计算出甜菜孢囊线虫的危险性综合评估风险值  $R = \sqrt[5]{P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5} = 2.397$ , 属于高度危险等级。

### 3 结论与讨论

新疆是我国主要甜菜种植基地和糖生产基地, 近年的甜菜种植面积约 6.6 万  $hm^2$ , 产糖量约占全国甜菜糖的 50%, 位居全国各省市地区甜菜糖产量的第一位 (白微微等, 2018)。开展甜菜孢囊线虫在新疆地区的适生性分析对新疆甜菜生产安全具有重要的指导意义。

在适生区预测中应用比较广泛的模型包括 BIOCLIM、CLIMEX、DOMAIN、GARP 和 MaxEnt 等 (陈燕婷等, 2013; 丁新华等, 2019; 董晓慧等, 2014; 黄伟明等, 2010; 李伟伟等, 2013; 刘静远等, 2016; 王峰等, 2002; 王梦琳等, 2017; 王祥会等, 2018; 王运生等, 2007)。李建中等 (2008) 对甜菜

孢囊线虫在中国的适生性进行了风险分析和预测,结果表明,甜菜孢囊线虫适生范围为  $26^{\circ} \sim 48^{\circ} \text{N}$ ,  $77.6^{\circ} \sim 136^{\circ} \text{E}$ , 可在中国 17 个省市生存,其中新疆西部和北部、内蒙古南部、河北中南部、山西东北部、宁夏、甘肃为高风险区,但该研究对甜菜孢囊线虫在新疆的适生区预测较为模糊。本研究采用的 BIOCLIM 模型预测结果与李建中等(2008)预测的在新疆的西北部为适生区基本一致,但预测区域更加精细和具体,具有更强的指导意义。与新疆甜菜的主要种植区比对发现,本文预测的中高风险区和

甜菜主要种植区二者基本重合。研究表明, BIOCLIM 模型可准确预测松材线虫在云南的适生区(潘红伟, 2008; 胥勇等, 2009), 说明 DIVA-GIS 软件中的 BIOCLIM 模型具有高度的可靠性。此外, BIOCLIM 和 MaxEnt 等模型类似, 是基于气候—环境—生物模型的预测软件。为弥补寄主等对本研究结果的影响, 本研究将 BIOCLM 模型预测结果和新疆的甜菜种植区进行了叠加, 其研究结果更加真实可靠。

表 1 甜菜孢囊线虫风险定量评估

Table 1 Quantitative risk assessment of *H. schachtii*

编号 No.	判断指标 Assessment indicator	判断标准 Assessment standard	赋值分 Scores
$P_1$	中国分布情况 China division	个别省份分布, 分布面积占全国 0~20% Distribution of individual provinces accounts for 0~20% of China	2
$P_{21}$	潜在的经济损失 Potential economic damage	产量损失高达 30% 以上 The loss of output is over 30%	3
$P_{22}$	是否传播其他检疫性有害生物 Dissemination of other quarantine pests	不传带其他检疫性有害生物 No other quarantine pests	0
$P_{23}$	国外重视程度 Overseas Attention	22 个国家将其列为检疫性有害生物名录 Twenty-two countries listed it as a quarantine pest list	3
$P_{31}$	受害寄主的种类 Types of infested hosts	受害的农作物栽培寄主达 218 种 Two hundred and eighteen kinds of injured crop cultivation hosts	3
$P_{32}$	受害寄主的种植面积 Planting area of injured host	甜菜、油菜等寄主面积大于 350 万 $\text{hm}^2$ Host areas of sugar beet and rape exceed 3.5 million hectares	3
$P_{33}$	受害栽培寄主的经济价值 Economic value of harmful cultivation hosts	经济价值高, 非常重要 High economic value, very important	3
$P_{41}$	截获难易 Difficulty to intercept	偶尔被截获 Occasionally intercepted	2
$P_{42}$	运输中的存活率 Survival in transportation	运输中几乎无死亡, 存活率在 40% 以上 There were almost no deaths during transportation and the survival rate was over 40%	3
$P_{43}$	国外分布情况 Overseas distribution	分布于世界上 50 多个国家 Distribution in more than 50 countries in the world	2
$P_{44}$	国内适生范围 Domestic suitable scope	国内适生范围在 17 个省市 The suitable range of students in China is 17 provinces and municipalities	3
$P_{45}$	传播能力 Communication capacity	土传, 但也可通过风雨及种子运输传播 Soil-borne, but also through wind, rain and seed transport	1
$P_{51}$	检验鉴定的难度 Difficulty of inspection and identification	现有检验鉴定方法可靠性低、花费时间长 Low reliability and time-consuming of existing inspection methods	3
$P_{52}$	除害处理的难度 Difficulty of harmful disposal	土传病害, 去除难度大 Difficult to remove soil-borne diseases	2
$P_{53}$	根除难度 Eradication difficulty	田间防治效果差, 成本高, 难度大 Poor field control effect, high cost, great difficulty	3

此外, 本研究还采用多指标综合评价体系, 通过对甜菜孢囊线虫的生物学特性、经济重要性、发生分布、寄主范围和防控难易程度等 5 个方面 15 个指标进行赋值计算, 综合评估甜菜孢囊线虫入侵新疆的风险。该评价体系及其模型能够预测有害生物入侵全过程的风险大小, 是有害生物风险评估

最常用的方法(李志红和秦誉嘉, 2018)。本研究结果表明, 甜菜孢囊线虫的危险性综合评估风险值为 2.397, 按照风险划分标准, 属于高度危险等级。

在本研究中, 甜菜孢囊线虫适生区主要在新疆北部, 南疆等广大地区属于非适生区。近年来, 在喀什地区甜菜被作为重要的扶贫经济作物大力推

广,种植面积快速增加。为保证甜菜的生产安全,需要在源头上控制甜菜孢囊线虫的传入和扩散,严格把控甜菜种子的检验检疫和甜菜的调运,加强监测,同时做好甜菜孢囊线虫的应急预案,从而保障新疆甜菜的健康生产,为我国糖产业保驾护航。

### 参考文献

白微微,杨安沛,张航,高海峰,热西达·阿不都热合曼,王锁牢,李广阔,2018.新疆荒漠绿洲区甜菜田杂草组成及群落特征.西北农业学报,27(8):1209-1215.

陈燕婷,黄离,王瑞,彭露,尤民生,2013.近10年来外来入侵昆虫风险分析的研究现状及主要进展.生物安全学报,22(4):217-228.

丁新华,李超,王小武,付开赞,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.

董晓慧,黄凌哲,张文英,刘盛楠,2014.浙江口岸4种(属)检疫性线虫的风险分析.广西植保,27(4):32-34.

韩秉进,朱向明,2016.我国甜菜生产发展历程及现状分析.土壤与作物,5(2):91-95.

黄伟明,符美英,王会芳,陈绵才,2010.外来入侵生物相似穿孔线虫的风险分析.基因组学与应用生物学,29(3):556-562.

蒋青,梁忆冰,王乃扬,姚文国,1995.有害生物危险性评价的定量分析方法研究.植物检疫,9(4):208-211.

李建中,彭德良,刘淑艳,2008.潜在外来入侵甜菜孢囊线虫在中国的适生性风险分析.植物保护,34(5):90-94.

李伟伟,季英超,安广池,赵洋民,周成刚,2013.危害青檀的新物种——青檀绵叶蚜在中国的潜在地理分布.生物安全学报,22(4):265-270.

李志红,秦誉嘉,2018.有害生物风险分析定量评估模型及其比较.植物保护,44(5):134-145.

刘静远,陈林,宋绍祎,朱雅君,王书平,何善勇,2016.基于MAXENT的维氏粒线虫(*Anguina wevelli*)在我国的潜在分布研究.植物保护,42(6):86-89.

刘勇,高雁鸣,刘岩,2002.新疆甜菜种植区研究.新疆大学学报(自然科学版),19(2):226-230.

潘红伟,2009.松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)在我国的潜在分布区研究.博士学位论文.北京:中国林业科学研究院.

邱靖,朱弘,陈昕,汤庚国,2018.基于DIVA-GIS的水榆花楸适生区模拟及生态特征.北京林业大学学报,40(9):25-32.

王峰,喻盛甫,冯士明,赵宇翔,徐正会,2002.松材线虫传入云南的风险评估.云南农业大学学报,17(4):421-422.

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.

王祥会,焦玉霞,孔德生,惠祥海,赵艳丽,许玲,闫硕,2018.腐烂茎线虫在我国的风险评估和防控建议.中国植保导刊,38(10):77-80,96.

王运生,谢丙炎,万方浩,肖启明,戴良英,2007.相似穿孔线虫在中国的适生区预测.中国农业科学,40(11):2502-2506.

胥勇,周平阳,王扬,陈志星,马荣,喻盛甫,2008.应用BIOTRANS生态位模型对松材线虫传入云南的风险评估.云南农业大学学报,23(6):746-753.

中华人民共和国农业农村部,2007.中华人民共和国农业部公告第862号.(2007-06-20)[2019-05-29].[http://www.moa.gov.cn/nybg/2007/dliuq/201806/t20180613\\_6151927.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2007/dliuq/201806/t20180613_6151927.htm).

FRANKLIN M T, HETERODERA S, 1972. *CIH descriptions of plant parasitic nematodes, Set 1, No. 1*. St Albans, UK: Commonwealth Institute of Helminthology.

LEAR B, MIYAGAWA S T, JOHNSON D E, ATLEE C B, 1966. The sugar beet nematode associated with reduced yields of cauliflower and other vegetable crops. *Plant Disease Report*, 50: 611-612.

MÜLLER J, 1999. The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. *Helminthologia*, 36: 205-213.

STEEL A E, 1965. The host range of the sugar beet nematode *Heterodera schachtii* Schmidt. *Journal of American Society of Sugar Beet Technology*, 13: 573-603.

STEELE A E, 1984. *Nematode parasites of sugar beets*//NICKLE W R. Plant and insect nematodes. New York: Marcel Dekker: 507-569.

(责任编辑:郭莹)