

青格乐,黄晓君,百里嘎,等.基于MODIS-MOD09Q1数据的雅氏落叶松尺蠖灾区提取及其适生气候特征分析[J].湖北农业科学,2024,63(1):169-176.

# 基于MODIS-MOD09Q1数据的雅氏落叶松尺蠖 灾区提取及其适生气候特征分析

青格乐<sup>1a</sup>,黄晓君<sup>1a,1b</sup>,百里嘎<sup>1a</sup>,Ganbat Dashzebeg<sup>2</sup>,Tsagaantsooj Nanzad<sup>2</sup>,  
Altanchimeg Dorjsuren<sup>3</sup>,Davaadorj Enkhnasan<sup>3</sup>,Mungunkhuyag Ariunaa<sup>2</sup>

(1.内蒙古师范大学,a.地理科学学院/内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室;b.内蒙古自治区蒙古高原灾害与生态安全重点实验室,呼和浩特 010022;2.蒙古国科学院地理与地质研究所,乌兰巴托 15170;3.蒙古国科学院综合实验生物学研究所,乌兰巴托 13330)

**摘要:**通过MODIS-MOD09Q1遥感数据,使用归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)和近红外波段反射率(NIR)3个易获取且与虫害发生程度具有响应的指标,划分灾区受害等级植被指数的变化,构建虫害综合指数(PCI)模型,实现雅氏落叶松尺蠖(*Eeannis jacobssoni*)灾区信息快速提取。在此基础上,借助气温和降水量数据,结合GIS空间叠加分析方法,揭示了害虫适生气候特征。结果表明,利用虫害综合指数能够准确提取害虫灾区严重度信息,其总体精度和Kappa系数分别为85.00%和0.81;雅氏落叶松尺蠖适宜于冬季、春季降水量较少、夏季降水量较多,气温不宜太高的气候,这与其生物学特性相吻合。该气候与大兴安岭林区相似,入侵风险较大,应引起中国林业部门的高度重视。

**关键词:**雅氏落叶松尺蠖(*Eeannis jacobssoni*);MODIS-MOD09Q1;灾区数据提取;适生气候特征

中图分类号:S763.3

文献标识码:A

文章编号:0439-8114(2024)01-0169-08

DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2024.01.031

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Extraction of *Eeannis jacobssoni* disaster area based on MODIS-MOD09Q1 data and analysis of its adaptive climate characteristics

QING Ge-le<sup>1a</sup>,HUANG Xiao-jun<sup>1a,1b</sup>,BAI Li-ga<sup>1a</sup>,Ganbat Dashzebeg<sup>2</sup>,Tsagaantsooj Nanzad<sup>2</sup>,Altanchimeg Dorjsuren<sup>3</sup>,  
Davaadorj Enkhnasan<sup>3</sup>,Mungunkhuyag Ariunaa<sup>2</sup>

(1a. College of Geographical Science/Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing & Geography Information System; 1b. Inner Mongolia Key Laboratory of Disaster and Ecological Security on the Mongolia Plateau, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China;

2. Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15170, Mongolia;

3. Institute of General and Experimental Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia)

**Abstract:** Using MODIS-MOD09Q1 remote sensing data, three easily obtainable and responsive indicators, namely Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Ratio Vegetation Index (RVI), and Near Infrared Reflectance (NIR), were used to classify the changes in vegetation index for the degree of damage in disaster areas, and a comprehensive pest index (PCI) model was constructed to achieve rapid extraction of information from the *Eeannis jacobssoni* disaster area. On this basis, with the help of temperature and precipitation data, combined with GIS spatial overlay analysis method, the climate characteristics suitable for pest growth were revealed. The results showed that using the comprehensive pest index could accurately extract the severity information of pest disaster areas, with an overall accuracy and Kappa coefficient of 85.00% and 0.81, respectively; *Eeannis jacobssoni* was suitable for climates with less precipitation in winter and spring, more precipitation in summer, and temperatures that should not be too high, which was consistent with its biological characteristics. This climate was similar to the Greater Khingan Mountains forest area, with a high risk of invasion, and should be highly valued by the Chinese forestry department.

**Key words:** *Eeannis jacobssoni*; MODIS-MOD09Q1; disaster area data extraction; adaptive climate characteristics

收稿日期:2022-11-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41861056);内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0183);内蒙古高校青年科技英才支持计划项目(NJYT22030);内蒙古自然科学基金项目(2022MS04005);内蒙古师范大学引进高层次人才科研启动经费项目(2020YJRC051)

作者简介:青格乐(1998-),男,内蒙古兴安盟人,在读硕士研究生,研究方向为自然灾害遥感监测预警,(电话)18847121536(电子信箱)2593300129@qq.com;通信作者,黄晓君(1984-),男,内蒙古兴安盟人,副教授,博士,主要从事自然灾害监测与预警研究,(电话)13451310301(电子信箱)hxj3s@qq.com。

雅氏落叶松尺蠖(*Eeannis jacobsoni*)是蒙古国独有的专食叶性害虫,其危害集中在幼虫期(6月和7月)。期间其幼虫会暴食针叶,使落叶松从顶部开始脱落,给森林生态系统带来严重危害<sup>[1]</sup>。雅氏落叶松尺蠖在蒙古国具有向东南方向的传播趋势,典型暴发区肯特省与中国大兴安岭地区仅相距百余公里,而两国之间无任何天然屏障进行阻截,极有可能入侵,将会对中国林区造成不可估量的环境破坏和经济损失。因此提取雅氏落叶松尺蠖灾区信息,尽早掌握适生气候条件对森林虫害的预防以及保护中国的森林生态安全至关重要。

虫害灾区信息提取是评估灾害的基础,了解危害的影响因素特征是解决问题的关键。虫害灾区信息提取方面,学者以往主要通过统计林木失叶率等指标或目视判别来划分灾区及严重度<sup>[2,3]</sup>,此类传统方法存在费时费力、时效性差、监测面积小等缺点。而遥感植被指数技术的快速发展对大面积危害程度监测提供了有效途径<sup>[4,5]</sup>。国内外学者在该方面已做了相关研究,赵博文<sup>[6]</sup>基于MODIS数据,采用归一化植被指数(*NDVI*)阈值法提取了农业灾害范围。苗静等<sup>[7]</sup>基于MODIS/Terra遥感数据,获取了蝗灾危害下植被生长期前后的*NDVI*差值图像,分析了植被受害范围与受灾程度。杨粉团等<sup>[8]</sup>基于CCD影像和野外观测生物量数据构建玉米粘虫生物量定量模型,并对其进行严重度划分及空间分布监测。在虫害空间分布的影响因素方面,朱程浩等<sup>[9]</sup>通过叠加油松毛虫受灾程度监测分类结果和地形、气象因素后发现,其研究结果与油松毛虫的生物学特性相吻合。Trubin等<sup>[10]</sup>通过线性回归分析了云杉八齿小蠹与气候之间的关系。Mesquita等<sup>[11]</sup>等通过南瓜实测数据间接评估了气候和土壤对南美葫芦实蝇(*Anastrepha grandis*)的影响。邹全程等<sup>[12]</sup>通过虫害暴发记录与气候响应分析、叠加点事件分析等方法开展了虫害暴发与气候因子关系的研究。宋丹等<sup>[13]</sup>根据相关系数来确定影响越冬代黑刺粉虱羽化高峰期的气象因子,为采取防控措施提供参考依据。

综上所述,目前利用MODIS遥感植被指数监测农业虫害较常见,而在森林虫害监测方面鲜有报道;害虫适生气候特征研究集中在农业害虫上,而森林害虫的研究较少。基于此,本研究利用MODIS-MOD09Q1遥感产品数据,计算植被指数,提取雅氏落叶松尺蠖灾区信息,结合气象数据,分析雅氏落叶松尺蠖的适生气候特征。这不仅为大面积森林虫害遥感监测提供参考,而且为雅氏落叶松尺蠖虫害防控提供重要依据。

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

研究区为雅氏落叶松尺蠖暴发典型区(蒙古国肯特省),位于东经108°20'55"—112°41'39",北纬46°03'31"—49°24'11",是蒙古国东部的山地与草原过渡带,东面与蒙古国东方省,南面与蒙古国东戈壁省,北边与俄罗斯,西面与蒙古国中央省接壤。肯特省占地面积8.2万km<sup>2</sup>,地势由西向东倾斜,平均海拔为1300m,气候属温带大陆性气候,1月平均气温达-21.8℃,7月平均气温可达19.3℃,年平均降水量为200~300mm。该地区气候变化明显,四季分明,冬季寒冷多雪、夏季天数少、日照充足,具有足够的光能资源。肯特省针叶林资源丰富,集中在北部地区及西北部肯特山脉地区。

### 1.2 数据来源与处理

1.2.1 虫害严重度数据 林木失叶率能够直接表征林木虫害严重度,本研究利用失叶率对林木虫害严重度进行等级划分。在落叶松林区随机选取110株落叶松样本树,在每株样本树上选取5个典型树枝,然后计数其受损针叶和健康针叶的数量,计算公式如下。

$$DR_i = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{N_{D_i}}{(N_{D_i} + N_{H_i})} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $DR_i$ 为第*i*( $i=1,2,3,\dots,n$ )株样本的失叶率; $N_{H_i}$ 和 $N_{D_i}$ 分别为第*i*棵样本树枝的健康针叶数和受损针叶数。每个样地中的样本树依据表格标准划分严重度,结果如表1所示<sup>[1]</sup>。

表1 基于失叶率划分虫害严重度

等级	失叶率/%	严重度
1级	[0,5)	健康
2级	[6,30)	轻度
3级	[31,70)	中度
4级	[71,100]	重度

1.2.2 MODIS-MOD09Q1数据 选取2010年7月3日(无灾)的1景影像和2017年7月3日(严重受灾)的1景影像,传感器为250m分辨率8d的MODIS-MOD09Q1产品数据。该数据提供地物反射率1、地物反射率2波段,即红波段和近红外段,可以获得大部分植被指数。使用归一化植被指数(*NDVI*)、比值植被指数(*RVI*)和近红外波段反射率(*NIR*)3个易获取且与虫害发生程度具有响应的指标,用于划分灾区受害等级植被指数的变化。

1.2.3 落叶松林分布数据 落叶松林分布数据为空

间分辨率30 m的土地利用类型精细分类数据集,来源于数据共享服务系统(<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.913496>)。应用ArcGIS的属性提取功能从原始影像中提取落叶松林栅格数据,最终显示肯特省落叶松林面积为11 458.39 km<sup>2</sup>,约占该省总面积的14%。

1.2.4 气象数据 所用的气象数据在欧洲中期天气预报中心(ECMWF)(<https://www.ecmwf.int/>)下载,包括冬季(12月、1月、2月)、春季(3月、4月、5月)、夏季(6月、7月、8月)的平均气温和降水量的栅格数据,分辨率为0.125°。获取的数据首先在ArcGIS上进行重投影、掩膜处理,然后通过ENVI软件将温度和降水量单位转换为摄氏度(°C)和毫米(mm),以掌握雅氏落叶松尺蠖适宜生存的气候条件。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 虫害严重度提取方法

1)植被指数计算。采用MRT工具对MOD09Q1产品数据进行投影转换、格式转换及波段筛选处理。将处理完成的影像在ArcGIS软件中分别打开,与研究区落叶松林边界相叠加,并做几何校正、大气校正、掩膜等预处理。从预处理完成的影像中提取NIR、NDVI和RVI,其计算公式如下。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

$$RVI = \frac{R}{NIR} \quad (3)$$

式中,NDVI为归一化植被指数;RVI为比值植被指数;NIR为近红外波段反射率;R为红波段反射率。

2)虫害综合指数计算。本研究选取NDVI、RVI和NIR 3个指标,通过层次分析法(AHP)中的1~7标度法(表2)构建判断矩阵,进行归一化处理,获得3个指标对虫害发生响应程度的权重,再通过计算得出对虫害具有较敏感响应的虫害综合指数(PCI),其范围为0~1,计算公式如下。

$$PCI = W_{NDVI}NDVI_i + W_{RVI}RVI_i + W_{NIR}NIR_i \quad (4)$$

式中, $W_{NDVI}$ 、 $W_{RVI}$ 、 $W_{NIR}$ 分别为3个指数所占权重; $NDVI_i$ 、 $RVI_i$ 、 $NIR_i$ 分别为各样本落叶松影像像元的NDVI、RVI、NIR。

AHP层次分析法在环境评估和综合各指标的影响方面提供了一种新思路,是结合定性与定量分析的多目标决策分析方法,其主要思想是将复杂问题分解为若干层次和若干因素,对两两指标之间的重要程度作出对比判断,建立判断矩阵,通过计算判断矩阵的最大特征值以及对应特征向量得出不同指标重要程度的权重,为选择最佳指标提供依据<sup>[14]</sup>,是综合分析各相关指标影响程度的方法。

表2 AHP的标度法

重要性标度	含义
1	同样重要
2	相邻判断的中间值
3	稍微重要
4	相邻判断的中间值
5	明显重要
6	相邻判断的中间值
7	强烈重要
倒数	2因素重要性之比的倒数

3)虫害严重度分类。基于实地调查获取的严重度等级分类结果,对大致获取的灾区影像进行再次提取,得到最终灾区空间分布信息,并分析灾区空间分布特征。为提高受灾等级分类精度,选取110株落叶松样本树,利用SVC HR-1024和ASD Field-Spec4地物光谱仪,测量样本落叶松冠层光谱反射率,并计算NDVI、RVI和NIR。应用虫害综合指数方法,计算出植被指数的PCI,根据各受灾程度样本落叶松对应的高光谱PCI范围,进行严重度节点的界定。计算遥感影像PCI,将严重度节点应用于遥感影像计算中,灾区虫害严重度分为健康、轻度、中度、重度4个等级。

4)虫害严重度分类精度评定。以总体精度和Kappa系数为评定指标,结合地面调查样地数据对雅氏落叶松尺蠖灾区严重度分类结果进行精度评定。总体精度和Kappa系数越接近1,表明精度越高。

1.3.2 害虫适生气候特征分析方法 气温和降水量是影响虫害生长发育的2个重要因素。本研究通过PCI的严重度划分结果,采用GIS空间叠加分析方法,通过气温和降水量栅格数据,以直方图分组统计对应像元值的频数,揭示雅氏落叶松尺蠖在不同严重度灾区中的气温特征和降水量特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 基于虫害综合指数的雅氏落叶松尺蠖灾区信息提取

为提取害虫灾区的虫害综合指数,通过层次分析法计算高光谱影像获得的各光谱指数对害虫危害发生时的响应权重。结果显示,NDVI、RVI、NIR的权重分别为0.567 9、0.334 0、0.098 1。这是因为NDVI在覆盖度较低的植被信息提取中更加敏感,RVI在覆盖度较高的植被信息提取中更加敏感<sup>[15]</sup>。当落叶松受到雅氏落叶松尺蠖危害,其失叶率等指标逐渐增加,导致林分覆盖度明显降低,因此NDVI对害虫危害时的响应更加明显,所占权重高于RVI。而单波段NIR无法排除土壤等背景干扰因素对植被光

谱反射率的影响,相比植被指数,其对害虫危害的响应较低,权重也相应降低。

对权重进行一致性检验,结果小于0.01,表明判断矩阵建立合理,因此虫害综合指数 $PCI$ 计算公式如下。

$$PCI = 0.5679NDVI_i + 0.3340RVI_i + 0.0981NIR_i \quad (6)$$

式中, $NDVI_i$ 、 $RVI_i$ 和 $NIR_i$ 分别为第 $i$ 株样本落叶松第 $i$ 个像元的指数值。

通过式(6)获得各样本落叶松影像的 $PCI$ 。为提取害虫灾区信息及划分严重度等级,在计算 $PCI$ 基础上,结合野外样本受灾程度,得到落叶松受灾程度划分节点(表3)。将 $PCI > 0.47$ (失叶率 $\leq 5\%$ )的落叶松判定为健康落叶松,将 $PCI \leq 0.47$ (失叶率 $> 5\%$ )的落叶松判定为受灾落叶松,为雅氏落叶松尺蠖灾区。其中, $0.47 \geq PCI > 0.28$ 为轻度受灾、 $0.28 \geq PCI > 0.11$ 为中度受灾、 $PCI \leq 0.11$ 为重度受灾。

表3 虫害综合指数 $PCI$ 受灾严重度划分

$PCI$	严重度
$> 0.47$	健康
$(0.28, 0.47]$	轻度
$(0.11, 0.28]$	中度
$\leq 0.11$	重度

将受灾程度划分结果应用于研究区影像,灾区面积为4 297.69 km<sup>2</sup>,占研究区落叶松林面积的37.51%,受灾区主要分布在肯特省的东北部、西北部和西部地区。轻度灾区面积为3 960.75 km<sup>2</sup>,占研究区落叶松林面积的34.57%,空间上均匀分布于落叶松林区,主要分布于额门鄂代拉盖尔、巴特希雷特、宾德尔、达达勒、瑙罗布林、巴特瑙劳布、臣赫尔曼达勒、巴特瑙劳布、热尔嘎啦特汗、海拉尔曾苏木。中度和重度灾区面积分别为309.13、27.81 km<sup>2</sup>,占研究区落叶松林面积的2.70%和0.24%,主要分布于肯特省西北部落叶松林区,即额门鄂代拉盖尔和巴特希雷特苏木。通过实地调查数据对本研究结果进行精度评定,总体精度为85.00%,Kappa系数为0.81,说明遥感提取结果与真实危害程度基本一致、可信度高,该方法可有效提取害虫灾区信息。

## 2.2 雅氏落叶松尺蠖适生气候特征分析

虫害与气候因子密不可分,因此揭示雅氏落叶松尺蠖适生气候特征,发掘雅氏落叶松尺蠖虫害发生的影响因素和适生条件对防控措施的选择有很大的作用。本研究分别将降水量和气温分为50个组并与害虫轻度、中度、重度灾区进行叠加,分析其像

元频数,通过直方图呈现。

2.2.1 气温特征 选择虫害发生年冬季(2016年12月至翌年2月)、春季(2017年3—5月)、夏季(2017年6—8月)的季节最高气温、平均气温、最低气温分析灾区气温特征。

1)轻度灾区气温特征。轻度灾区与气温因素叠加分析后获取的直方图如图1所示。在冬季,雅氏落叶松尺蠖虫害轻度发生区最高气温为-18.08~-15.36℃,主要分布在-16.70~-16.50℃;平均气温为-20.90~-18.34℃,主要分布在-19.70~-19.30℃;最低气温为-23.90~-22.02℃,主要分布在-23.15~-22.85℃。在春季,虫害发生区最高气温为8.74~13.6℃,主要分布在8.74~13.00℃;平均气温为0.77~3.92℃,主要分布在0.78~3.56℃;最低气温为-8.86~-5.90℃,主要分布在-8.15~-6.90℃。在夏季,虫害发生区最高气温为18.28~22.54℃,主要分布在19.38~21.26℃;平均气温为15.43~19.03℃,主要分布在16.17~18.45℃;最低气温为14.00~16.92℃,主要分布在14.33~16.32℃。

2)中度灾区气温特征。中度灾区与气温因素叠加分析后获取的直方图如图2所示。结果表明,在冬季,最高气温为-17.91~-15.36℃,主要分布在-16.66~-16.19℃;平均气温为-20.8~-18.32℃,主要分布在-19.69~-19.38℃;最低气温为-24.00~-22.01℃,主要分布在-23.11~-22.82℃。在春季,虫害发生区最高气温为8.74~13.40℃,主要分布在8.74~9.03℃;平均气温为0.76~3.78℃,主要分布在2.49~3.48℃;最低气温为-8.86~-6.05℃,主要分布在-7.26~-7.01℃。在夏季,虫害发生区最高气温为18.62~22.58℃,主要分布在20.48~21.28℃;平均气温为15.43~18.99℃,主要分布在17.11~18.45℃;最低气温为14.01~17.10℃,主要分布在15.40~16.43℃。

3)重度灾区气温特征。重度灾区与气温因素叠加分析后获取的直方图如图3所示。结果表明,在冬季,最高气温为-17.88~-15.40℃,主要分布在-16.68~-16.45℃;平均气温为-20.75~-18.51℃,主要分布在-19.43~-19.23℃;最低气温为-23.92~-22.07℃,主要分布在-22.86~-22.70℃。在春季,最高气温为8.74~13.13℃,主要分布在8.74~9.02℃;平均气温为0.76~3.65℃,主要分布在0.88~1.24℃;最低气温为-8.86~-6.81℃,主要分布在-8.61~-7.98℃。在夏季,最高气温为18.64~21.78℃,主要分布在18.65~19.00℃;平均气温为15.44~18.79℃,主要分布在15.45~15.86℃;最低气温为14.01~16.50℃,主要分布在14.01~14.51℃。

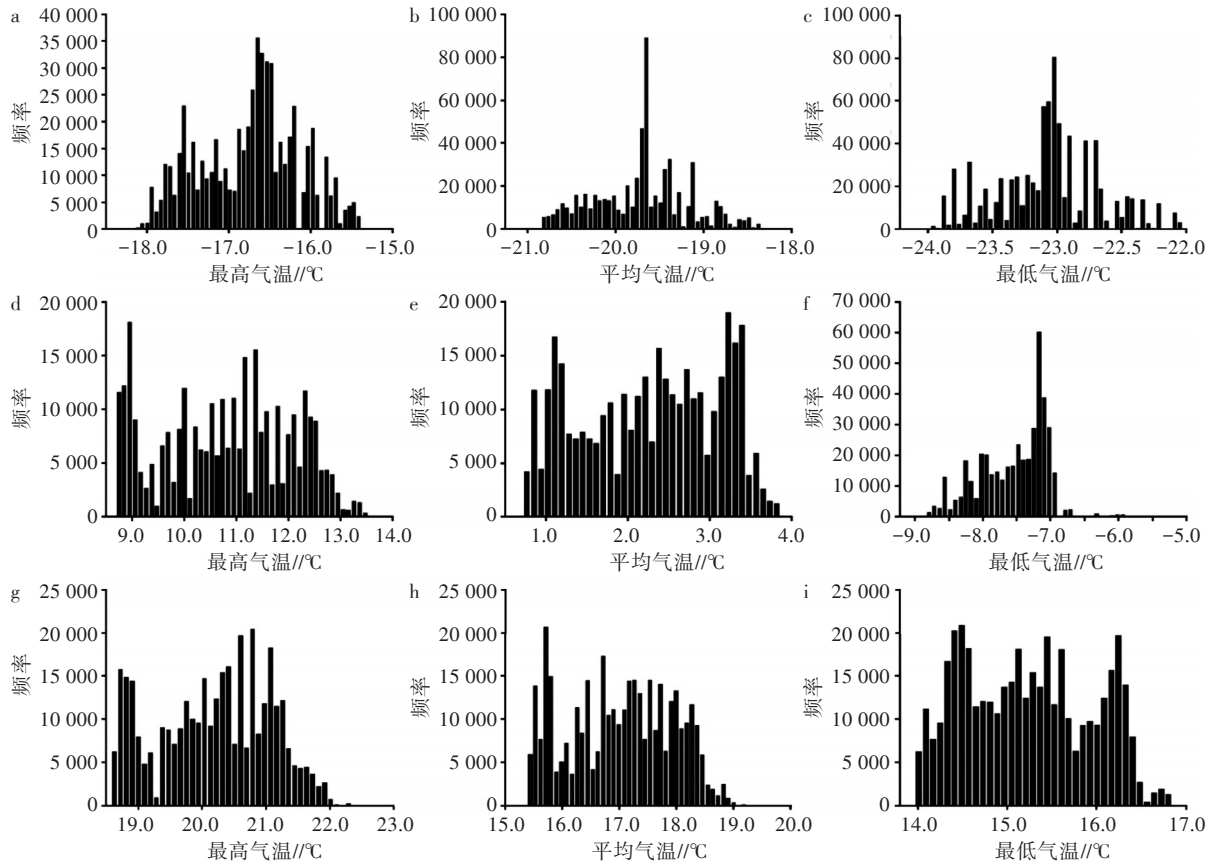


图 1 轻度灾区气温特征直方图

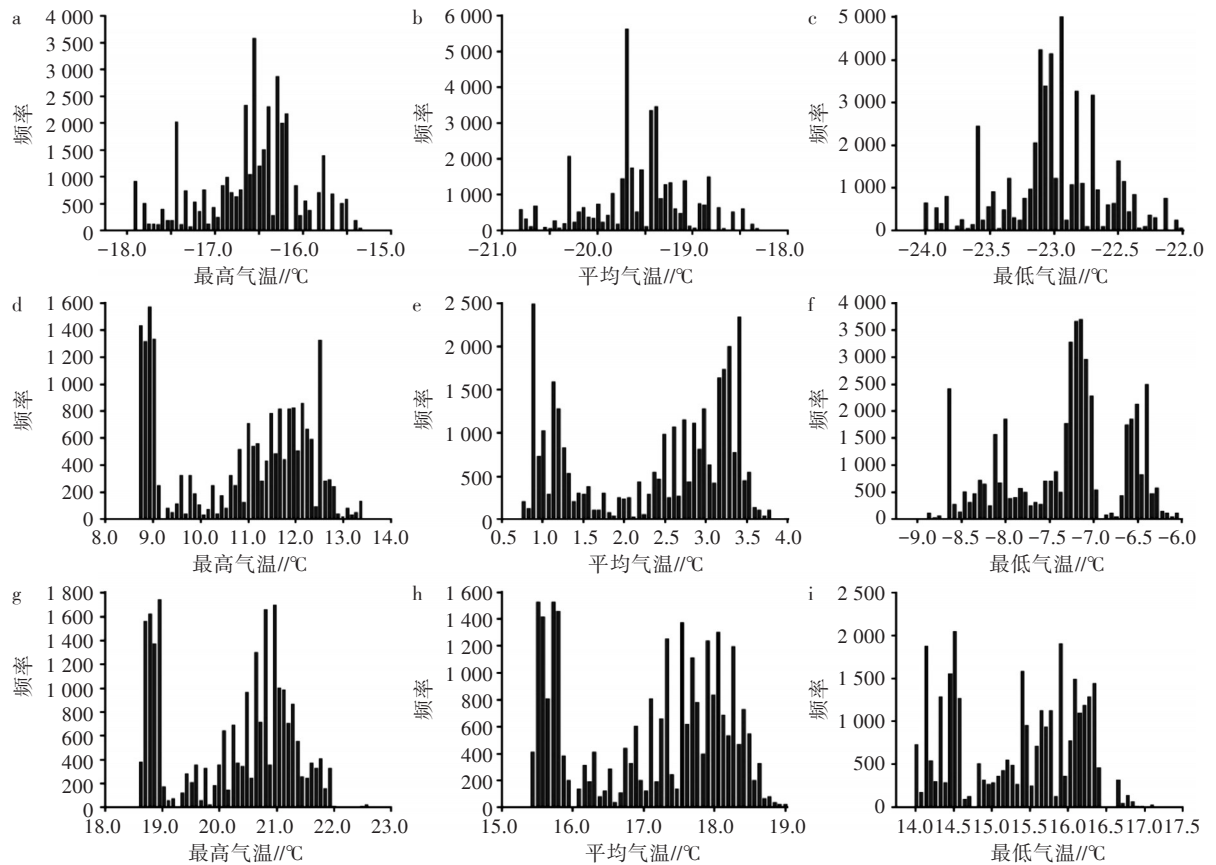


图 2 中度灾区气温特征直方图

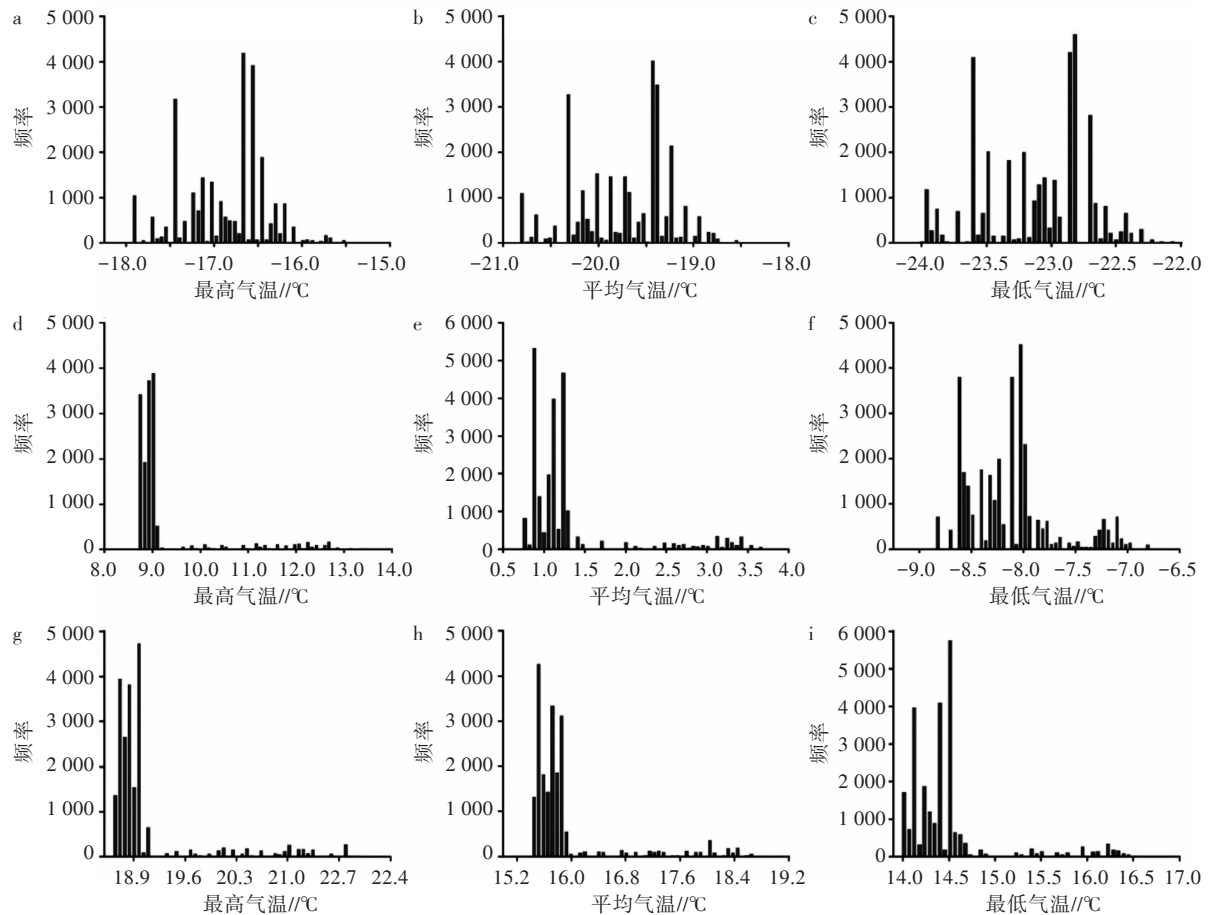


图3 重度灾区气温特征直方图

2.2.2 降水量特征 选择虫害发生年冬季、春季、夏季的最高降水量、最低降水量和平均降水量分析灾区降水量特征。

1)轻度灾区降水量特征。轻度灾区与降水量因素叠加分析后获取的直方图如图4所示。在冬季,雅氏落叶松尺蠖虫害轻度发生区最高降水量为3.2~13.2 mm,主要分布在3.6~6.1 mm;平均降水量为1.8~7.2 mm,主要分布在2.4~3.7 mm;最低降水量为0.3~3.7 mm,主要分布在0.3~1.5 mm。在春季,最高降水量为6.6~35.2 mm,主要分布在18.8~28.7 mm;平均降水量为5.4~23.0 mm,主要分布在10.5~14.5 mm;最低降水量为3.1~15.7 mm,主要分布在4.2~9.9 mm。在夏季,最高降水量为80.9~137.2 mm,主要分布在102.2~131.7 mm;平均降水量为43.8~69.0 mm,主要分布在52.9~55.0 mm;最低降水量为5.1~34.7 mm,主要分布在7.6~19.6 mm。

2)中度灾区降水量特征。中度灾区与降水量因素叠加分析后获取的直方图如图5所示。在冬季,最高降水量为3.4~13.3 mm,主要分布在4.2~8.5 mm;平均降水量为2.0~7.5 mm,主要分布在2.5~4.0 mm;最低降水量为0.5~3.4 mm,主要分布在0.5~0.6 mm。在春季,最高降水量为8.2~33.7 mm,主要分布在

18.6~30.5 mm;平均降水量为5.9~22.9 mm,主要分布在8.5~21.0 mm;最低降水量为3.4~15.7 mm,主要分布在4.0~8.2 mm。在夏季,最高降水量为85.6~136.9 mm,主要分布在102.4~128.5 mm;平均降水量为43.7~69.2 mm,主要分布在54.6~68.7 mm;最低降水量为5.4~30.0 mm,主要分布在8.0~25.0 mm。

3)重度灾区降水量特征。重度灾区与降水量因素叠加分析后获取的直方图如图6所示。在冬季,最高降水量为3.4~13.3 mm,主要分布在6.8~11.7 mm;平均降水量为2.1~7.2 mm,主要分布在3.9~6.4 mm;最低降水量为0.5~3.7 mm,主要分布在2.0~3.2 mm。在春季,最高降水量为9.3~32.6 mm,主要分布在24.1~30.1 mm;平均降水量为8.5~21.8 mm,主要分布在17.1~20.9 mm;最低降水量为4.1~15.7 mm,主要分布在13.6~15.2 mm。在夏季,最高降水量为99.1~137.1 mm,主要分布在102.2~110.8 mm;平均降水量为51.6~69.3 mm,主要分布在53.1~57.8 mm;最低降水量为5.7~30.0 mm,主要分布在17.1~25.0 mm。

### 3 小结

本研究以雅氏落叶松尺蠖暴发区 MODIS-MOD09Q1 数据为研究基础,计算植被指数,建立虫

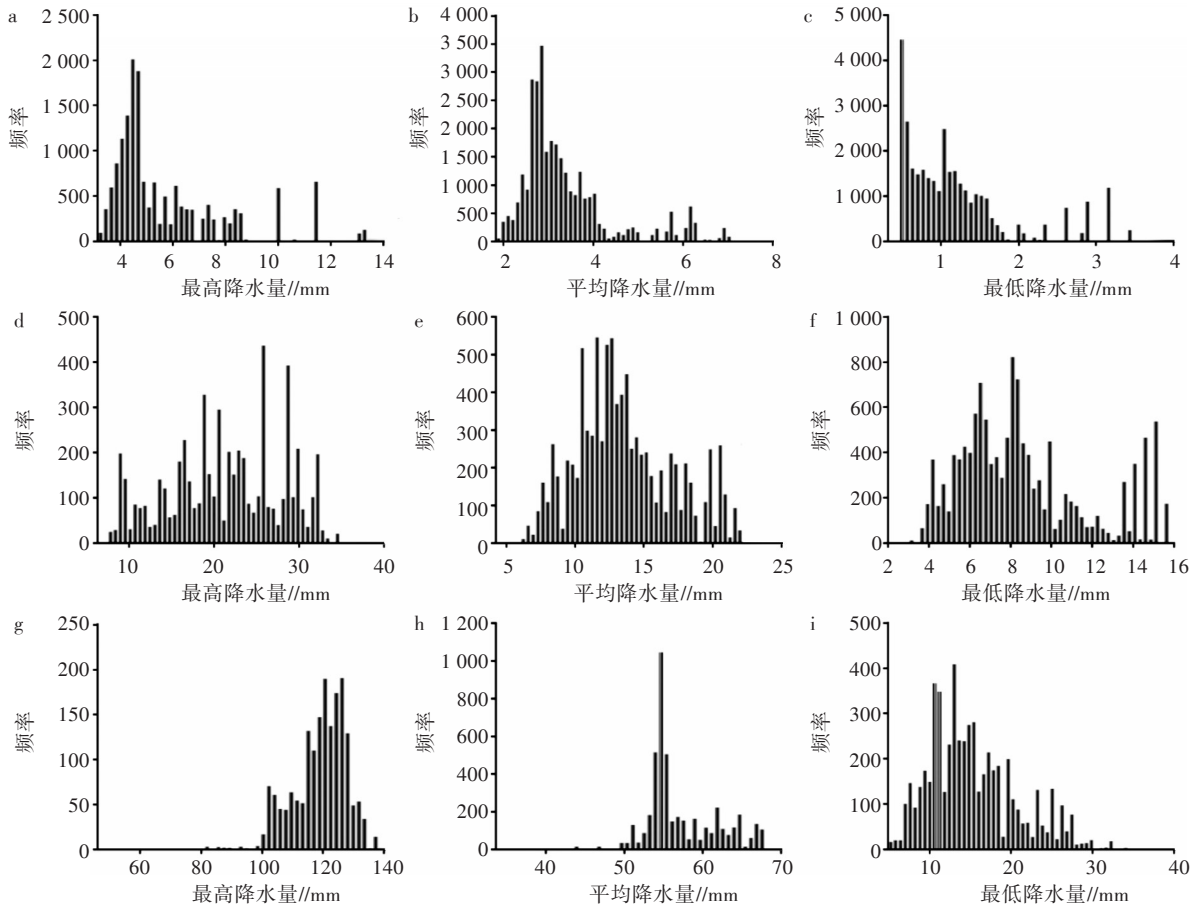


图 4 轻度灾区降水量特征直方图

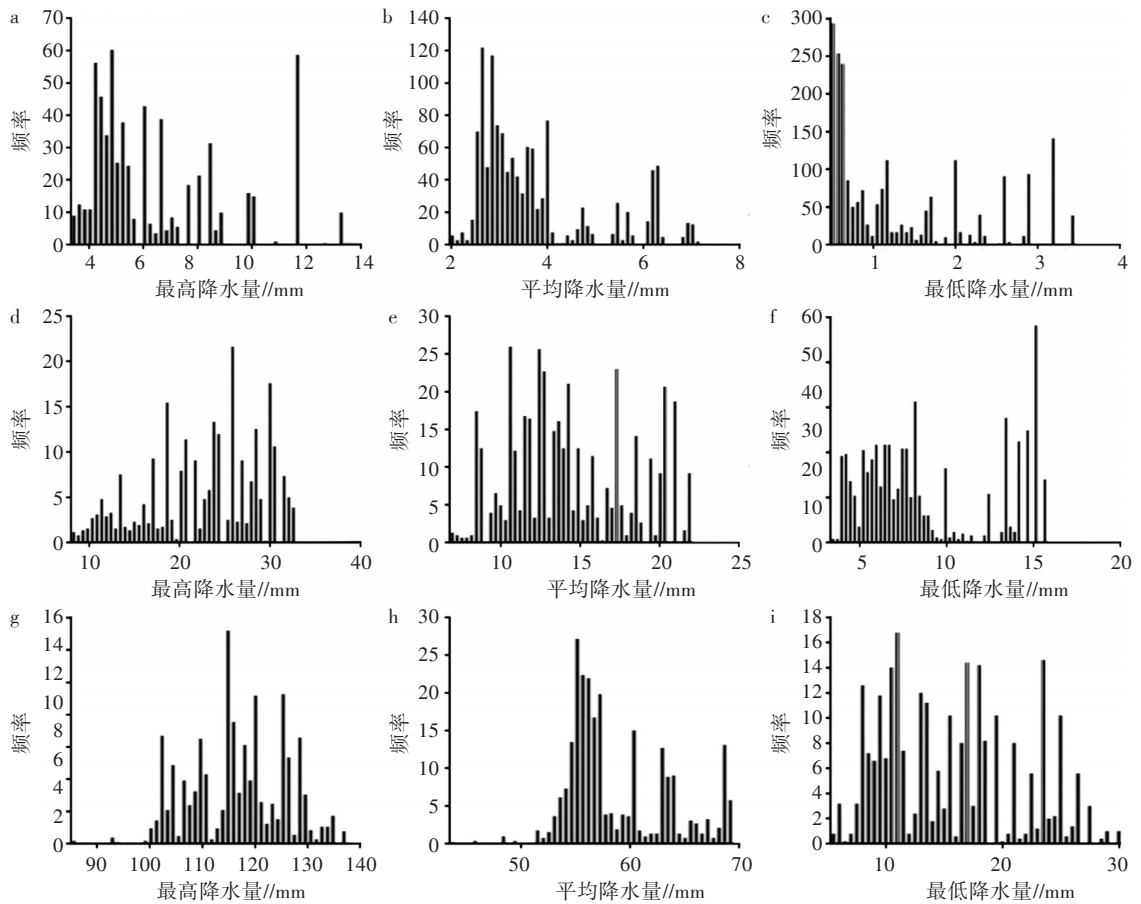


图 5 中度灾区降水量特征直方图

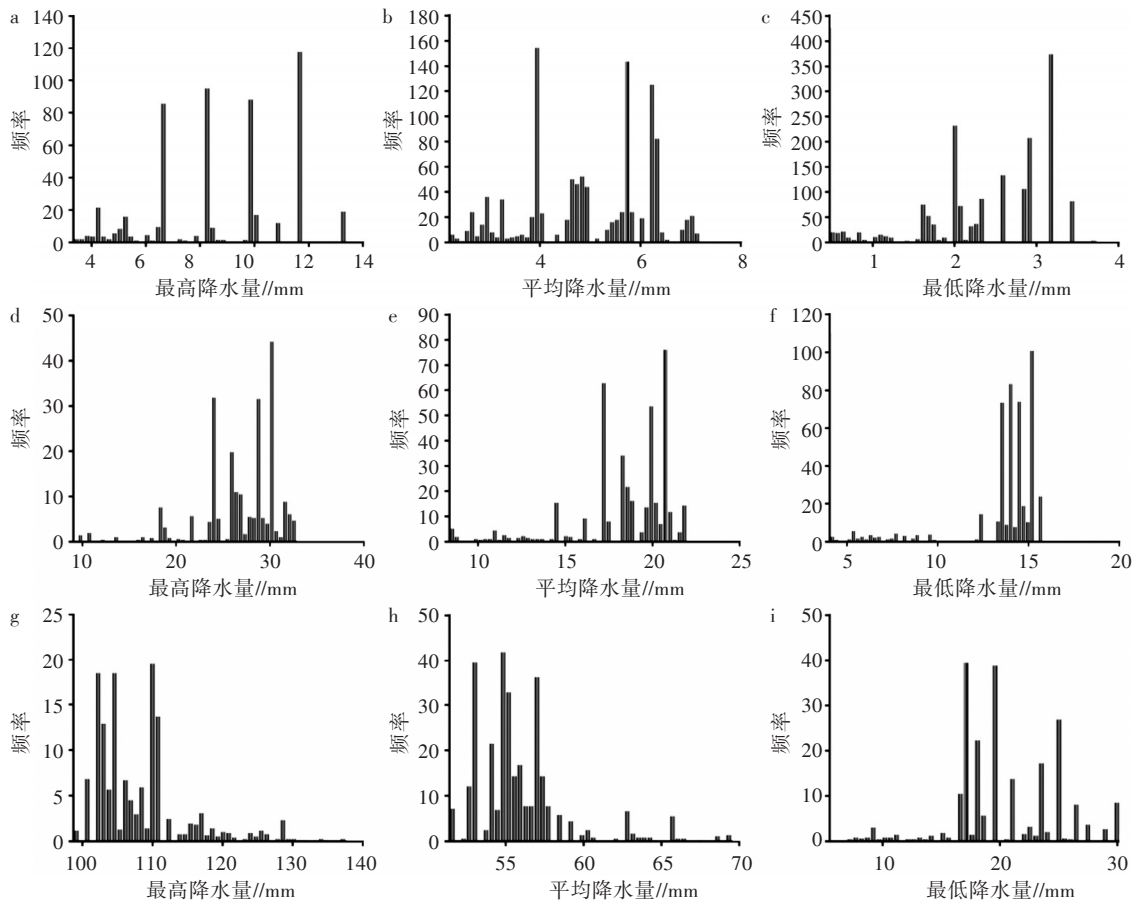


图6 重度灾区降水量特征直方图

害综合指数,结合其他辅助数据提取了雅氏落叶松尺蠖灾区数据,并分析了害虫适生气候特征。通过实地调查数据对本研究结果进行精度评定,总体精度和Kappa系数分别为85.00%和0.81,说明遥感提取结果与真实危害程度基本一致、可信度高,该方法可有效提取害虫灾区信息。雅氏落叶松尺蠖适宜于冬季、春季降水量较少、夏季降水量较多,气温不宜太高的气候,这与其生物学特性相吻合。值得注意的是,该气候与大兴安岭林区相似,入侵风险较大,应引起中国林业部门的高度重视。

#### 参考文献:

- [1] 黄晓君. 落叶松针叶虫害地面高光谱识别及遥感监测方法研究[D]. 兰州:兰州大学,2019.
- [2] 邢占民,郭久林,韩建国,等. 冀北谷子连作障碍田病虫害主要为害种类及发生程度调查[J]. 种子科技,2017,35(12):129-131,133.
- [3] 林丹敏,黄德超,邵屯,等. 不同生育期玉米上草地贪夜蛾的发生为害规律[J]. 环境昆虫学报,2020,42(6):1291-1297.
- [4] 元兴兰,曹祖宁,刘健,等. 基于卫星遥感影像的森林病虫害监测研究进展[J]. 林业资源管理,2020(2):181-186.
- [5] 黄文江,董莹莹,赵龙龙,等. 蝗虫遥感监测预警研究现状与展望[J]. 遥感学报,2020,24(10):1270-1279.
- [6] 赵博文. 基于距中植被指数的黑龙江省农业灾害遥感监测[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [7] 苗静,赵梓淇,刘焕莉,等. 应用MODIS数据监测大范围病虫害植被指数变化——以2010年澳大利亚蝗灾为例[J]. 中国农学通报,2015,31(14):148-155.
- [8] 杨粉团,顾晓鹤,李刚,等. 利用多时相HJ-CCD遥感影像监测玉米粘虫灾情空间分布[J]. 农业工程学报,2013(14):156-163.
- [9] 朱程浩,瞿帅,张晓丽. 油松毛虫灾害遥感监测及其影响因子分析[J]. 遥感学报,2016,20(4):653-664.
- [10] TRUBIN A, MEZEI P, ZABIHI K, et al. Northernmost European spruce bark beetle *Ips typographus* outbreak: Modelling tree mortality using remote sensing and climate data [J]. Forest ecology and management, 2022, 505: 119829.
- [11] MESQUITA F W, DE SOUZA-FILHO M F, RAGA A, et al. Climatic and edaphic characteristics constrain the distribution of the quarantine pest *Anastrepha grandis* [J]. Entomologia experimentalis ET applicata, 2021, 169(7): 586-596.
- [12] 邹全程,闫平,徐健楠,等. 塞罕坝地区森林虫害暴发历史及其与气候因子的关系[J]. 东北林业大学学报,2020,48(7):114-119.
- [13] 宋丹,姜燕敏,兰建军,等. 松阳茶园主要虫害与气象因子的关系[J]. 浙江农业科学,2022,63(8):1825-1828.
- [14] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.
- [15] 李紫涵. 基于Landsat-8OLI数据的植被覆盖度反演模型研究——以西安市雁塔区为例[J]. 农业与技术,2022,42(4):83-87.