

Analysis of Spatial Distribution of Jas's Larch Inchworm Outbreak Area

Xiaojun Huang^{1,2,3,4}, Yaowen Xie², Yulong Bao^{1,3,4}, Enkhnasan D⁵, Ganzorig B⁶, Peiling Li¹

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

²College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

³Key Laboratory of Remote Sensing & Geography Information System, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

⁴Inner Mongolia Key Laboratory of Disaster and Ecological Security on the Mongolia plateau, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

⁵Institute of General and Experimental Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulan Bator, Mongolia

⁶Forest research development center, Ministry of Nature Environment and Tourism, Ulan Bator, Mongolia

雅氏落叶松尺蠖暴发区空间分布特征分析

黄晓君^{1,2,3,4}, 颜耀文², 包玉龙^{1,3,4}, Enkhnasan D⁵, Ganzorig B⁶, 李佩玲¹

¹内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022, 中国

²兰州大学资源环境学院, 兰州 730000, 中国

³内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022, 中国

⁴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, 中国

⁵蒙古国科学院综合与实验生物学研究所, 乌兰巴托, 蒙古国

⁶蒙古国自然环境和旅游部森林研究发展中心, 乌兰巴托, 蒙古国

Abstract

Jas's Larch Inchworm is a pest that harms larch forest in Mongolia plateau. It is important to study the distribution of Jas's Larch Inchworm outbreak area for effective prevention and control of larch disaster. In this study, the RS data were used to extract pests areas by the change detection-maximum synthesis model, and the pest coverage index was used to extract insect outbreak areas, and then the spatial distribution characteristics of the pest outbreak areas were analyzed from both meteorological and topographic perspectives. The research shows that the Kappa coefficient of extraction of the pest areas is 0.835, indicating that this method has high accuracy. The pest coverage index can be used to rapidly extract pest outbreak areas,

which is a new idea for extracting outbreak area in forest pests. During the incubation period, spawning period and wintering period of pests, the distribution of pest outbreak areas has spatially different rules for temperature and precipitation conditions. The pest outbreak areas are mainly distributed on Semi-sunny slope or semi-shady slopes with gentle slopes of 1676-2996m above sea level. The research results will provide a reference for the occurrence and development of the Jas's Larch Inchworm.

Keywords: Jas's Larch Inchworm outbreak area; GIS spatial analysis; Pest coverage index; Spatial distribution characteristics

摘要

雅氏落叶松尺蠖是蒙古高原独有严重危害落叶松林的害虫, 研究其暴发区空间分

布规律对于有效防控该虫灾害具有重要意义。本研究利用遥感数据通过变化检测-最大值合成法模式提取害虫发生区,计算虫害覆盖指数提取害虫暴发区,然后从气象和地形两方面分析了害虫暴发区空间分布特征。结果显示:①提取害虫发生区的Kappa系数为0.835,说明此方法精度较高;②利用虫害覆盖指数可快速提取害虫暴发区,这是森林害虫暴发区提取的一种新思路;③在孵化期、产卵期和越冬期,害虫暴发区分布对于气温和降水量具有空间分异规律;④害虫暴发区主要分布在海拔1676~2996m缓坡的半阳坡或半阴坡上。以上研究成果为雅氏落叶松尺蠖灾害发生发展规律提供参考依据。

关键词: 雅氏落叶松尺蠖暴发区; GIS 空间分析; 虫害覆盖指数; 空间分布特征

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[1])是主要威胁森林生态系统的自然灾害。蒙古高原森林资源丰富,森林虫害频发,其中雅氏落叶松尺蠖(*Erannis jacobsoni* Djak)灾害尤其严重。雅氏落叶松尺蠖是蒙古高原独有严重危害落叶松林的害虫。近年来该虫在蒙古国北部频发,森林生态系统遭到严重破坏。此灾害逐年往东扩展,已对我国北方森林生态屏障安全有重大威胁。我国高度重视中蒙俄绿色“一带一路”建设,习近平主席多次强调,要践行绿色发展理念,着力深化环保合作,加大生态环境保护力度,携手打造绿色丝绸之路。尤其强调我国北方和蒙古国生态安全问题,如森林病虫害的攻击。在此背景下,研究蒙古国雅氏落叶松尺蠖灾害空间分布特征显得至关重要。

森林虫害信息提取是分析虫害空间分布特征的前提,而虫害空间分布特征是揭示害虫灾害发生发展规律的核心问题。从森林虫害信息提取来看,遥感具有时间分辨率、空间分辨率和光谱分辨率的优势,目前已成为大面积森林虫害信息快速提取的主要手段,如利用不同年份的TM5/TM4、TM4/TM3、TM7/TM4、NDVI、PVI、绿度植被指数(GVI)、土壤调节植被指数(SAVI)和红边参数指数等光谱指数并进行比较与分析,提取森林虫害信息[2-9]。从虫害空间分布特征分析来

讲,一般针对虫害发生影响因素,分析虫害分布特征,如黄晓君等利用影响雅氏落叶松尺蠖适生性气象指标,结合害虫分布点和寄主分布数据,采用Maxent模型和GIS空间分析方法分析了雅氏落叶松尺蠖适生区空间分布特征[10];刘志明等通过1975~1992年的积温、月平均相对湿度、降水量、温度等气象站点数据,分析了干燥度、湿润度、温雨系数与落叶松毛虫灾害的关系[11];邓刚利用林业有害生物测报点年均温度、年均最低温度、年均最高温度、降水量和日照时数等气象数据,对黑龙江森林虫害发生进行了空间区划[12];姜霞等运用2000~2014年贵州省年平均气温、冬季平均气温和年降水量等气象数据,分析了气候变化与贵州省森林病虫害发生的相关关系[13];刘冬等分析了我国农、林业害虫分布特征,并探讨了气象因素和社会经济因素对我国省级单位空间中农林业害虫分布的影响[14]。李艳等采用1971~2000年气候标准值年值数据集,利用相关分析方法,分析了我国70种典型农林害虫的地理分布格局与气候要素的关系[15]。总的来说,森林虫害信息遥感提取主要利用Landsat卫星遥感影像的NDVI、RVI(TM4/TM3、TM5/TM4和TM7/TM4)、PVI和GVI等光谱指数来实现;森林虫害空间分布特征主要通过气象因素的影响来探讨。基于此,笔者利用Landsat卫星遥感数据,计算重要光谱指数,提取蒙古国杭爱省南部雅氏落叶松尺蠖灾害信息,并从气象和地形因素出发,借助GIS空间分析方法揭示虫害空间分布特征,为该虫灾害发生规律提供科学依据。

1 材料与与方法

1.1 研究数据及预处理

本研究主要使用的数据由Landsat卫星影像数据(2011年7月与2016年8月的2景影像,空间分辨率为30m)、气象站点数据(2015年与2016年杭爱省17个站点冬季最低气温、5月降水量和平均气温、10月降水量和平均气温)、数字高程模型数据(空间分辨率为90m)和2016年野外虫害调查数据组成。利用ENVI软件对影像数据进行大气辐射校正和裁剪处理并对DEM数据进行投影转换及裁剪处理,运用ArcGIS软件对气象数据进行空

间化、投影转换及裁剪处理。研究数据的坐标与投影系统应统一，即坐标系统为WGS1984，投影为通用墨卡托UTM，带号为47N。

1.2 研究方法

本研究以蒙古国杭爱省南部5个苏木为研究区（图1），利用遥感和GIS技术方法，提取雅氏落叶松尺蠖发生区和暴发区，并从气象和地形两个方面对害虫暴发区空间分布进行了探讨。

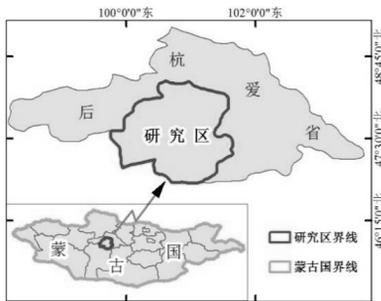


图 1 研究区示意图

1.2.1 雅氏落叶松尺蠖发生区遥感提取方法

(1) 虫害信息提取指标的获取

笔者参考前人相关研究选择近红外波段反射率（NIR）、比值植被指数（RV11和RV12）、归一化植被指数（NDVI）、垂直植被指数（PVI）和绿色度植被指数（Greenness）等6个对森林植被健康程度较敏感的指数，作为雅氏落叶松尺蠖发生区信息提取指标。其中NIR可从预处理后的Landsat影像直接获取；RV11、RV12和NDVI分别利用NIR/Red、SWIR1/NIR和 $(NIR-R)/(NIR+R)$ 等公式计算可得（R为红波段反射率，SWIR1为短波红外1反射率）；PVI可通过 $(NIR - aR - b) / \sqrt{1 + a^2}$ 公式计算求得（a、b分别为土壤线的斜率和截距）；Greenness可利用缨帽变换获取。从2011年和2016年影像中分别提取此6个指标。

(2) 害虫发生区提取

2011年杭爱省未发生雅氏落叶松尺蠖，记为健康年份，而2016年发生了虫害，记为灾害年份。首先对健康年份与灾害年份的提取指标进行求差，获得变化信息。其次通过

落叶松分布图斑对变化信息进行掩膜处理获得落叶松植被变化信息。再次根据各指标对灾害的响应特征从变化信息中剔除灾害无关的信息，获得各指标差的能够表征虫害的信息，并分别进行归一化处理。然后对6个指标差进行最大值合成，获得组合后的1个综合指标（值范围为0~1）。最后分析2016年野外虫害调查点数据与综合指标的关系，对综合指标阈值并快速提取雅氏落叶松尺蠖发生区。

1.2.2 雅氏落叶松尺蠖暴发区提取及空间分布特征分析方法

在害虫发生区分布信息遥感提取的基础上，首先以 $1000 \times 1000m$ 为单元格，在研究区中建立格网，并计算每个单元网格的虫害发生面积比例，记为虫害覆盖指数（PCI，见式1）。其次根据虫害位置及其虫害覆盖指数，使用聚类统计量测度蒙古国杭爱省南部雅氏落叶松尺蠖发生程度空间自相关性，其中高-高集聚为害虫暴发区。然后害虫暴发区与气象因素（孵化期降水量和平均气温、产卵期降水量和平均气温和越冬期最低气温）和地形因素（海拔、坡度和坡向）分别进行空间叠加分析，结合直方图分析方法揭示雅氏落叶松尺蠖暴发区在气象和地形上的空间分异规律。

$$PCI_i = \frac{N_i \sum_{j=1}^{N_i} X_{ij}}{G_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中 PCI_i 为第 i 个单元网格的虫害覆盖指数， G_i 、 X_{ij} 分别为单元网格的面积和第 i 个单元网格中的第 j 个虫害像元的面积， N_i 为第 i 个单元网格中包含的虫害像元数，PCI值越大虫害严重程度越大。

2 结果与分析

2.1 雅氏落叶松尺蠖发生区与暴发区提取

通过变化检测与最大值合成相结合模式获得雅氏落叶松尺蠖发生区分布信息提取综合指标，与野外调查点数据叠加分析后发现，当害虫发生时综合指标值为大于0.95。从而对综合指标进行阈值后可得到雅氏落叶松尺蠖发生区的分布信息，如图2-A所示。为害虫发生区分布信息遥感提取精度的评定，本研究借助野外调查点数据和遥感提取结

果计算了Kappa系数，其值为0.835。Kappa系数能检验提取结果与真实结果的一致性，可评价此提取方法的精度。Kappa系数值表明提取结果与真实结果一致性极好。可见，该方法精度较高，能够有效提取害虫发生区分布信息。

在获得雅氏落叶松尺蠖发生区分布信息的基础上，通过式1计算虫害覆盖指数，并利用聚类分析方法对虫害覆盖指数进行聚类分析，从中提取高-高聚集的部分确定为害虫暴发区，得到的结果如图2-B所示。雅氏落叶松尺蠖暴发区分布与野外虫害调查数据进行比较得知，提取结果可信度较高。

2.2 雅氏落叶松尺蠖暴发区空间分布特征分析

2.2.1 虫害空间分布总体特征

雅氏落叶松尺蠖暴发区与降水量、气温等分别空间叠加分析，得到害虫暴发区空间分布的气象特征，并揭示了雅氏落叶松尺蠖对气象条件的适生性。笔者选择了害虫发育过程关键阶段的气象因素，即孵化期：2016年5月降水量和平均气温、产卵期：2015年10月降水量和平均气温、越冬期：2015年冬季最低气温（2015年11月至翌年1月）。研究结果表明，孵化期：雅氏落叶松尺蠖暴发区分布在降水量和平均气温分别介于29.94~42.30mm和4.77~8.92℃；产卵期：害虫暴发区分布在降水量和平均气温分别介于1.16~9.56mm和-2.52~1.53℃；越冬期：害虫暴发区分布在冬季最低气温介于-41.64~-31.14℃。为进一步分析雅氏落叶松尺蠖暴发区在气象上的分异规律，对暴发

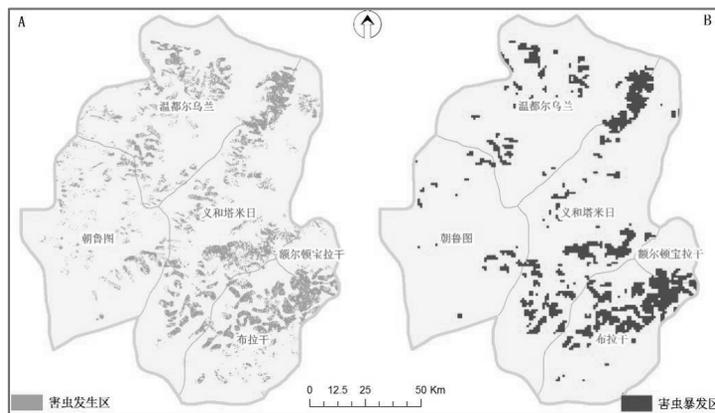


图2 2016年杭爱省南部雅氏落叶松尺蠖灾害空间分布(A. 害虫发生区分布, B. 害虫暴发区分布)

从图2-A可知，2016年蒙古国杭爱省南部温都尔乌兰、义和塔米日、朝鲁图、额尔顿宝拉干和布拉干等5个苏木均发生了雅氏落叶松尺蠖灾害，其中温都尔乌兰、义和塔米日和布拉干苏木的害虫发生面积较大。从图2-B得知，2016年研究区东南部的义和塔米日和布拉干苏木雅氏落叶松尺蠖暴发面积明显较大。害虫暴发区分布与雅氏落叶松尺蠖生境因素空间分布特征具有密切关系，如气象和地形因素。

2.2.2 害虫暴发区空间分布的气象特征

区气象因素进行了直方图分析（频率与组距比值大于20的设为主要分布区）。结果显示，在孵化期雅氏落叶松尺蠖暴发区主要分布在降水量和平均气温分别介于38.10~42.30mm和5.62~8.37℃（图3-A、2-B）；在产卵期害虫暴发区主要分布在降水量和平均气温分别介于7.36~9.56mm和-0.92~1.53℃（图3-C、2-D）；在越冬期主要分布在冬季最低气温介于-34.94~-31.14℃（图3-E）。这说明在孵化期雅氏落叶松尺蠖不适宜零下气温和较高湿度的冷雨天气；在产卵

期害虫较适宜干旱天气；越冬期害虫不适宜过于寒冷天气，最低气温高于-42℃较宜。

2.2.3 害虫暴发区空间分布的地形特征

雅氏落叶松尺蠖暴发区与海拔、坡度、坡向进行空间叠加分析，得到害虫暴发区空间分

布了频数分析。结果表明，雅氏落叶松尺蠖暴发区分布在海拔介于 1676~2996m，其中主要分布区在海拔 1916~2471m（见图 4-B）；不同坡度间相比，缓坡上的频数最高（见图 4-A）；不同坡向间相比，半阳坡上的频数最

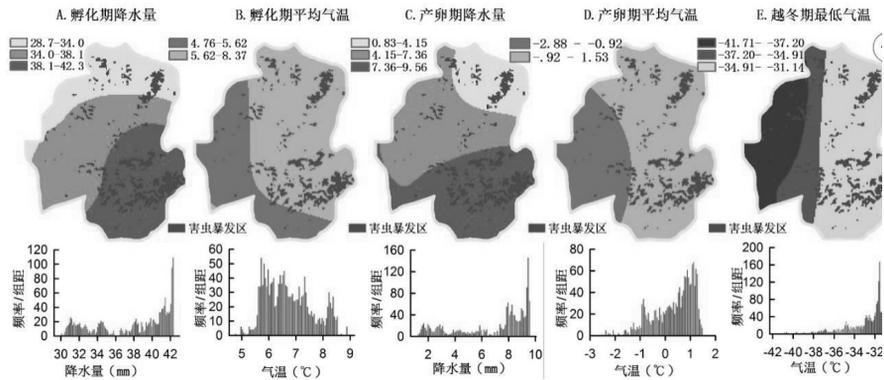


图3 害虫暴发区空间分布的气象特征及直方图

布的地形特征，并揭示了害虫对地形条件的适生性。本研究对害虫暴发区海拔分为 100 个组进行了直方图分析（频率与组距比值大于 20 的设为主要分布区），对坡度分为平坡（0°~5°）、缓坡（6°~15°）、斜坡（16°~25°）和陡坡（26°以上）进行了频数分析，对坡向分为阴坡（北向）、半阴坡（东北向和西北向）、阳坡（南向）和半阳坡（东向、西向、东南向和西南向）进行

高，其次为半阴坡（见图 4-C）。可见，雅氏落叶松尺蠖较适宜中高山缓坡的半阳坡或半阴坡上生殖发育。

3 结论

笔者首先选择 NIR、NDVI、RVI1、RVI2、PVI 和 Greenness 等 6 个指标，对不同时相遥感影像进行变化检测，并结合最大值合成法求得一个综合指标，快速提取了雅氏落叶

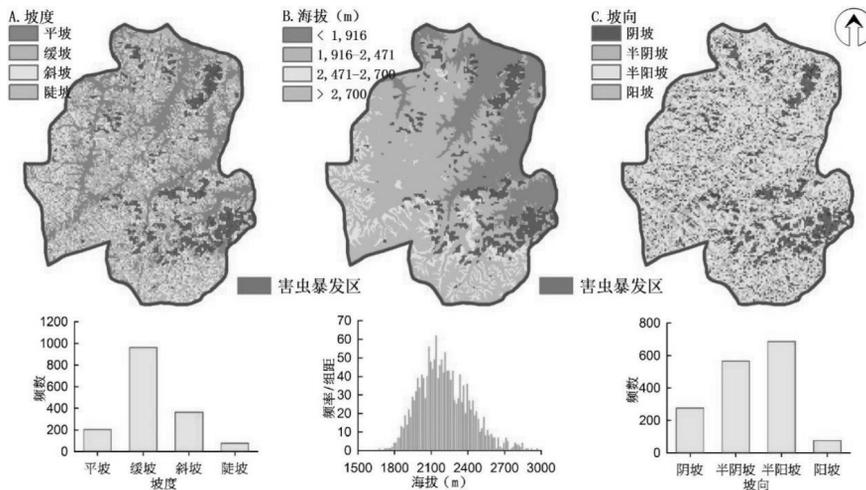


图4 害虫暴发区空间分布的地形特征及直方图

松尺蠖发生区分布信息；其次利用格网法定义并计算了虫害覆盖指数；在此基础上，采用聚类分析法提取了雅氏落叶松尺蠖暴发区分布信息；最后从气温、降水量、海拔、坡度和坡向等因素分析害虫暴发区空间分布特征，得到了以下结论：①利用变化检测-最大值合成法模式，提取雅氏落叶松尺蠖发生区分布的 Kappa 系数达 0.835，说明此方法提取精度较高；②新定义了虫害覆盖指数，并利用该指数可快速提取害虫暴发区，这是森林害虫暴发区提取的一种新思路；③从气象因素来看，在孵化期、产卵期和越冬期，雅氏落叶松尺蠖暴发区分布对气温和降水量条件具有空间分异规律；④从地形因素来讲，雅氏落叶松尺蠖暴发区主要分布在海拔 1676~2996m 的缓坡的半阳坡或半阴坡上。以上研究成果对于雅氏落叶松尺蠖发生发展规律的揭示具有重要参考意义。

Acknowledgements

This study was supported by National Natural Science Fund (No.61631011) and Inner Mongolia Science and Technology Project (201702116) .

致谢

本研究得到了国家自然科学基金（61631011），内蒙古科技计划项目（201702116）的资助。

参考文献

- [1] Li X H, Wu W J, Lv D B ,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.
- [2] 武红敢, 石进. 松毛虫灾害的 TM 影像监测技术. *遥感学报*, 2004, 8(2): 172-177.
- [3] 武红敢, 乔彦友, 黄建文. 利用陆地卫星 TM 数据评估森林病虫害. *遥感技术与应用*, 1994, 9(4): 47-51.
- [4] 戴昌达. 卫星遥感监测松毛虫灾. *遥感信息*, 1991, (3): 32-34.
- [5] Vogelmann J E, Rock B N. Assessing forest damage in high-elevation coniferous forests in Vermont and New Hampshire using Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24: 227-246.
- [6] Nakane K, Kimura Y. Assessment of pine forest damage by blight based on Landsat TM data and correlation with environmental factors. *Ecological Research*, 1992, (7):9-15.
- [7] Brockhaus J A. Khorram S,et al. A comparison of landsat TM and SPOT HRV data for use in the development of forest defoliation modes. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13(6): 3235-3240.
- [8] 云丽丽, 高国平, 栾庆书, 等. 辽西油松毛虫虫害的 TM 影像监测技术. *安徽农业科学*, 2010, 38(1): 201-204.
- [9] 元兴兰. SPOT-5 遥感影像马尾松毛虫害信息提取技术研究. 福建农林大学, 2011.
- [10] 黄晓君, 颜耀文, 包玉海, 等. 雅氏落叶松尺蠖在蒙古高原的适生区分布研究. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2018, 46(4): 1-9.
- [11] 刘志明, 晏明, 张旭东, 等. 气象因子对落叶松毛虫的影响分析. *灾害学*, 2002, 17(4): 32-37.
- [12] 邓刚. 气象因子的变化对黑龙江省森林病虫害影响的研究. 东北林业大学, 2012.
- [13] 姜霞, 郭金鹏, 丁访军. 气候变化对贵州省森林病虫害的影响. *贵州林业科技*, 2017, 45(4): 44-47.
- [14] 刘摇冬, 沈渭寿, 朱四喜, 等. 中国农林业害虫分布特征及其影响因素. *生态学杂志*, 2014, 33(12): 3322-3331.
- [15] 李艳, 吴建国, 谢立勇, 等. 典型农林害虫分布与气候要素的关系. *环境科学*, 2012, 25(5): 533-542.