

文章编号:1001—7380(2023)04—0030—05

基于空间自相关的泰州市美国白蛾时空分布格局分析

陈立勇¹,刘 娜²,周祥锋³,卞生辉⁴,李 玲⁵,叶 军^{1*}

(1. 泰州市林业技术指导中心,江苏 泰州 225300; 2. 泰州市海陵区农业技术推广中心,江苏 泰州 225300;
3. 靖江市林业科技推广中心,江苏 靖江 225300; 4. 兴化市林业技术指导站,江苏 兴化 225300; 5. 泰兴市
林业技术推广中心,江苏 泰兴 225300)

摘要:该研究以江苏省泰州市2022年美国白蛾(*Hyphantria cunea*)监测数据为基础,通过泰森多边形对空间进行微观划分,采用空间自相关对美国白蛾不同发生时期空间分布特征和冷热点分布格局进行分析。结果表明,泰州市美国白蛾空间上呈聚集分布,不同发生时期空间聚集程度相对稳定,湿度对美国白蛾发育和空间聚集分布有一定影响。热点区域主要分布在姜堰区北部和兴化市西北部,其中姜堰区北部为主热点区域,兴化市西北部为次热点区域。持续性冷点区域主要分布在泰兴市南部和靖江市全域,极少量美国白蛾成虫扩散至如泰运河以南。认为该研究所用方法适用于基层林业部门对美国白蛾监测预报工作。

关键词:美国白蛾;空间自相关;泰森多边形;热点分析;时空分布;泰州市

中图分类号:S763.305;S763.42 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2023.04.006

Spatial-temporal distribution pattern analysis of *Hyphantria cunea* in Taizhou based on spatial autocorrelation

Chen Liyong¹, Liu Na², Zhou Xiangfeng³, Bian Shenghui⁴, Li Ling⁵, Ye Jun^{1*}

(1. Taizhou Forestry Technology Guidance Center, Taizhou 225300, China; 2. Hailing District Agro-Techniques Extension Center, Taizhou 225300, China; 3. Jingjiang Forestry Technology Extension Center, Jingjiang 225300, China; 4. Xinghua Forestry Technical Guidance Station, Xinghua 225300, China; 5. Taixing Forestry Technology Extension Center, Taixing 225300, China)

Abstract: Based on the monitoring data of *Hyphantria cunea* in Taizhou, Jiangsu Province in 2022, the space within was divided microscopically by thiesen polygon, and the spatial distribution characteristics, cold and hot spot distribution pattern of *H. cunea* in different occurrence periods were analyzed by spatial autocorrelation. The results showed that the spatial distribution of *H. cunea* in Taizhou was aggregated, and the aggregation degree in different occurrence periods was relatively stable. Humidity had certain influence on the development and spatial aggregation distribution. The hot spots were mainly concentrated in the north of Jiangyan (the main hot spot area) and the northwest of Xinghua (the sub-hot spot area). The persistent cold spot areas were mainly distributed in the south of Taixing and the whole region of Jingjiang. Very little amount of *H. cunea* adults spread to the south of Rutai Canal. The method used in this study was suitable for the monitoring and forecasting of *H.* in grassroots forestry departments.

Keywords: *Hyphantria cunea*; Spatial autocorrelation; Thiessen polygon; Hotspot analysis; Spatial-temporal distribution; Taizhou

美国白蛾(*Hyphantria cunea*)属鳞翅目灯蛾科,是国际性检疫有害生物,被我国列为重大外来入侵物种^[1]。美国白蛾于2015年入侵江苏省泰州市,目前全市有4个美国白蛾疫区(兴化市、海陵区、姜堰

区和医药高新区(高港区)),2个非疫区(泰兴市和靖江市)。研究表明,泰州市全域为美国白蛾低适生区和高扩散风险区^[2-3],是美国白蛾南下扩散的重要通道地区^[2]。做好美国白蛾防控工作,不仅可

收稿日期:2023-05-03;修回日期:2023-06-07

作者简介:陈立勇(1988-),男,山东青岛人,硕士。主要从事林果技术研究和推广工作。E-mail:920883643@qq.com

* 通信作者:叶 军(1975-),男,江苏泰兴人,研究员级高级工程师。主要从事林业技术研究和推广工作。E-mail:2317042991@qq.com

以保障泰州市林草生物安全,对于全国防控大局也至关重要。

空间自相关是空间统计分析理论与方法构建的基础,也是地理学第一定律的主要呈现形式,即任何事物都是与其他事物相关的,地理上距离越近的事物关联性越强^[4]。昆虫种群受扩散和空间相互作用影响,空间自相关性在昆虫中广泛存在^[5]。空间自相关分析可以反映昆虫种群的空间分布特征及对邻域的影响程度,近年来在林业有害生物空间分布研究中得到应用^[6-8]。但大多研究主要从宏观层面揭示林业有害生物空间分布情况,空间要素多为县级或者乡镇行政区域,时间尺度多为年度,时空分布格局缺乏微观反映,不能满足基层林业部门精细化防控的工作需要。同时,研究使用的处理软件专业性强,操作复杂且付费使用,也不适用于基层林业部门日常监测预报工作使用。

本研究基于空间自相关理论,利用免费的 GIS 软件作为处理软件,通过泰森多边形对市域宏观空间进行微观划分,采用空间自相关对美国白蛾不同发生时期空间分布特征和冷热点分布格局进行分析,全面掌握泰州市美国白蛾发生动态和扩散趋势,以期总结出一种适用于基层林业部门使用,专业难度低、简单易用、准确性高的美国白蛾监测预报分析方法。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本研究以位于江苏省中部的泰州市为研究区。泰州市位于北纬 $32^{\circ}01'57''$ — $33^{\circ}10'59''$ 、东经 $119^{\circ}38'21''$ — $120^{\circ}32'20''$ 之间。全市总面积 $5\,787.98\text{ km}^2$,陆地面积占 78.19% ,水域面积占 21.81% ,全境地貌以江淮 2 大水系冲积平原为主。泰州市属北亚热带湿润气候区,历年平均气温 15.4°C 、平均降水量 $1\,037.3\text{ mm}$ 。截至 2021 年,全市森林覆盖面积 12.87 万 hm^2 ,森林覆盖率 17.75% ,植被以落叶阔叶林和常绿阔叶林为主,境内林地均由人工林组成。

1.2 数据来源与处理

研究数据来源于泰州市 224 个美国白蛾性诱监测点。使用的美国白蛾诱捕器为桶形诱捕器,诱芯品牌为中捷四方(代理日本进口诱芯)。诱捕器的挂设使用、成虫期监测调查方法和不同发生时期划分标准参照国家林业和草原局生物灾害防

控中心印发的《美国白蛾监测预报技术操作手册》(试行)。数据统计采用 Microsoft Office Excel 软件,空间自相关分析采用免费的 GeoDa1.20 软件,泰森多边形划分和制图采用免费的 QGIS3.24.1 软件。

1.3 研究方法

1.3.1 泰森多边形划分 本研究根据美国白蛾监测点的分布进行泰森多边形划分(如图 1)。泰森多边形划分后,每个多边形内都仅有 1 个监测点,且多边形内的任意一点到该监测点的距离都小于到其他多边形中监测点的距离。泰森多边形的空间属性以其包含的监测点属性数据进行表示,即每个多边形内的监测点数据反映了多边形区域的虫口密度高低,以此对各个泰森多边形虫口密度进行简单评估^[9]。

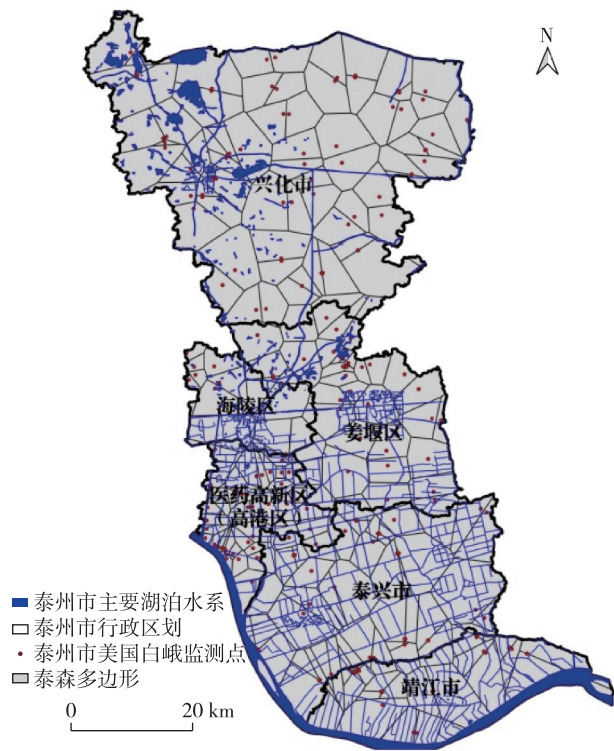


图1 泰州市美国白蛾监测点分布及泰森多边形划分

1.3.2 空间权重矩阵构建 空间权重矩阵反映了泰森多边形(空间要素)之间的相邻关系,构建合理的空间权重矩阵是确保空间自相关分析结果准确的关键。常见的空间权重矩阵包括邻接矩阵(Queen 邻接和 Rook 邻接)和距离矩阵(距离阈值和 k -最近邻)^[10]。

空间自相关分析时产生的 z 值反映了空间聚类

效果。当研究数据不符合正态分布时,不少于 8 个左右的相邻空间要素才能保证 z 值结果可靠。考虑到本研究美国白蛾监测数据不符合正态分布,若采用邻接矩阵,位于市域边缘的泰森多边形相邻空间要素较少,无法确保 z 值结果可靠,因此本研究采用 k -最近邻方法构建空间权重矩阵。由于美国白蛾自然扩散距离有限,随着距离的增加空间相关性逐渐降低,因此应用反距离权重且 k 值不易过大。本研究选取 $k=8$,即根据泰森多边形内监测点之间的距离确定 8 个最近邻。

1.3.3 全局空间自相关分析 全局空间自相关分析可以对整个研究区域内美国白蛾进行空间分布特征描述,本研究采用全局 $Moran's I$ 指数对美国白蛾不同发生时期空间分布特征进行分析。全局 $Moran's I$ 取值范围为 $[-1,1]$,全局 $Moran's I>0$ 表明研究区域存在空间正相关,美国白蛾呈聚集分布,取值越接近 1,空间相关性越显著; $Moran's I=0$ 表示不存在空间自相关性,美国白蛾呈随机分布; $Moran's I<0$ 表明研究区域存在空间负相关,美国白蛾呈离散分布,取值越接近 -1,空间差异性越显著^[11]。

1.3.4 局部空间自相关分析 局部空间自相关分析可以反映美国白蛾在局部区域范围内的空间集聚程度。通过热点分析(局部 $Getis-Ord Gi^*$)能够直观反映高值或低值要素在空间上发生聚集的位置,得到具有显著统计学意义的热点区域或冷点区域,即该点不仅为高值或低值,且被其他同样具有高值或低值的空间要素所包围,排除了随机分布因素^[12]。本研究通过热点分析对美国白蛾不同发生时期冷热点区域时空分布进行可视化反映,热点区域为美国白蛾成虫高虫口分布区,冷点区域为美国白蛾成虫低虫口分布区。

2 结果与分析

2.1 泰州市美国白蛾空间分布特征

表 1 显示,美国白蛾不同发生时期全局 $Moran's I$ 均大于 0,且通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验(z 值 <-1.96 或 >1.96 , p 值 <0.05),说明美国白蛾呈显著空间正相关,具有明显的聚集分布态势。越冬代和第 1 代成虫羽化期全局 $Moran's I$ 差异性不大,说明以上时期美国白蛾聚集程度相对稳定。但第 2 代成虫羽化期全局 $Moran's I$ 显著下降,说明此时美国白蛾空间聚集程度降低,尤其是第 2

代成虫高峰期—结束期全局 $Moran's I$ 为 0.057,已趋于随机分布。

根据泰州市气象部门数据显示,第 2 代成虫羽化期泰州市天气极端干燥少雨,其中 8 月下旬—9 月上旬(第 2 代成虫高峰期—结束期间)降水量较常年同期偏少近 90%。研究表明,湿度是影响美国白蛾生长发育的重要因素,湿度低于 50%不利于幼虫发育^[13]。兴化市和姜堰区监测到的第 2 代美国白蛾成虫数量仅为常年同期的 10%—20%,也说明了干燥少雨的极端气候明显抑制泰州市第 2 代美国白蛾成虫生长发育。因此认为,泰州市美国白蛾空间上呈聚集分布,不同发生时期聚集程度相对稳定,湿度对美国白蛾发育和空间聚集分布有一定影响。

表 1 不同发生时期全局 $Moran's I$

不同发生时期	全局 $Moran's I$	z 值	p 值
越冬代成虫始见期—高峰期	0.436	14.832 9	0.001
越冬代成虫高峰期—结束期	0.389	16.708 4	0.001
第 1 代成虫始见期—高峰期	0.465	16.390 1	0.001
第 1 代成虫高峰期—结束期	0.443	17.721 9	0.001
第 2 代成虫始见期—高峰期	0.312	10.947 2	0.001
第 2 代成虫高峰期—结束期	0.057	2.032 9	0.039

2.2 泰州市美国白蛾冷热点区域时空分布

图 2 显示,热点区域主要分布在姜堰区北部(老通扬运河以北)和兴化市西北部(渭水—林湖—德胜湖一线西北)。姜堰区北部为持续性热点区域,整个美国白蛾发生期均为成虫高虫口分布区,是主热点区域。兴化市西北部为阶段性热点区域,在越冬代和第 1 代成虫始见期—高峰期为成虫高虫口分布区,是次热点区域。研究发现,兴化市美国白蛾成虫单日羽化高峰相对集中,姜堰区美国白蛾成虫羽化不整齐,单日羽化高峰相对分散。2 个热点区域羽化整齐度不一致,说明 2 地美国白蛾种群空间同步性较低,种群间相对独立,相互干扰较小。医药高新区(高港区)沿江地区为偶发性热点区域,只在第 2 代成虫始见期—高峰期为成虫高虫口分布区,全年踏查未发现美国白蛾危害(网幕)。该地区毗邻扬州市江都区和镇江市扬中市 2 个疫区,且为泰州市主要交通枢纽,美国白蛾成虫异地输入风险较高。在本地第 2 代美国白蛾成虫整体虫口密度极低的情况下,外来输入性成虫使其成为“假性”热点区域。泰兴市南部(如泰运河以南)和靖江市全域

为持续性冷点区域,整个美国白蛾发生期均为成虫低虫口分布区。研究发现,持续性冷点区域监测点全年监测到的美国白蛾成虫极少,极少量美国白蛾成虫扩散至如泰运河以南地区。

结合泰州市主要河湖水系分布发现,热点区域具有湖荡密布的地理特征,受地形限制存在防治盲区,导致虫口密度相对较高,适宜美国白蛾生存、定殖和持续危害。

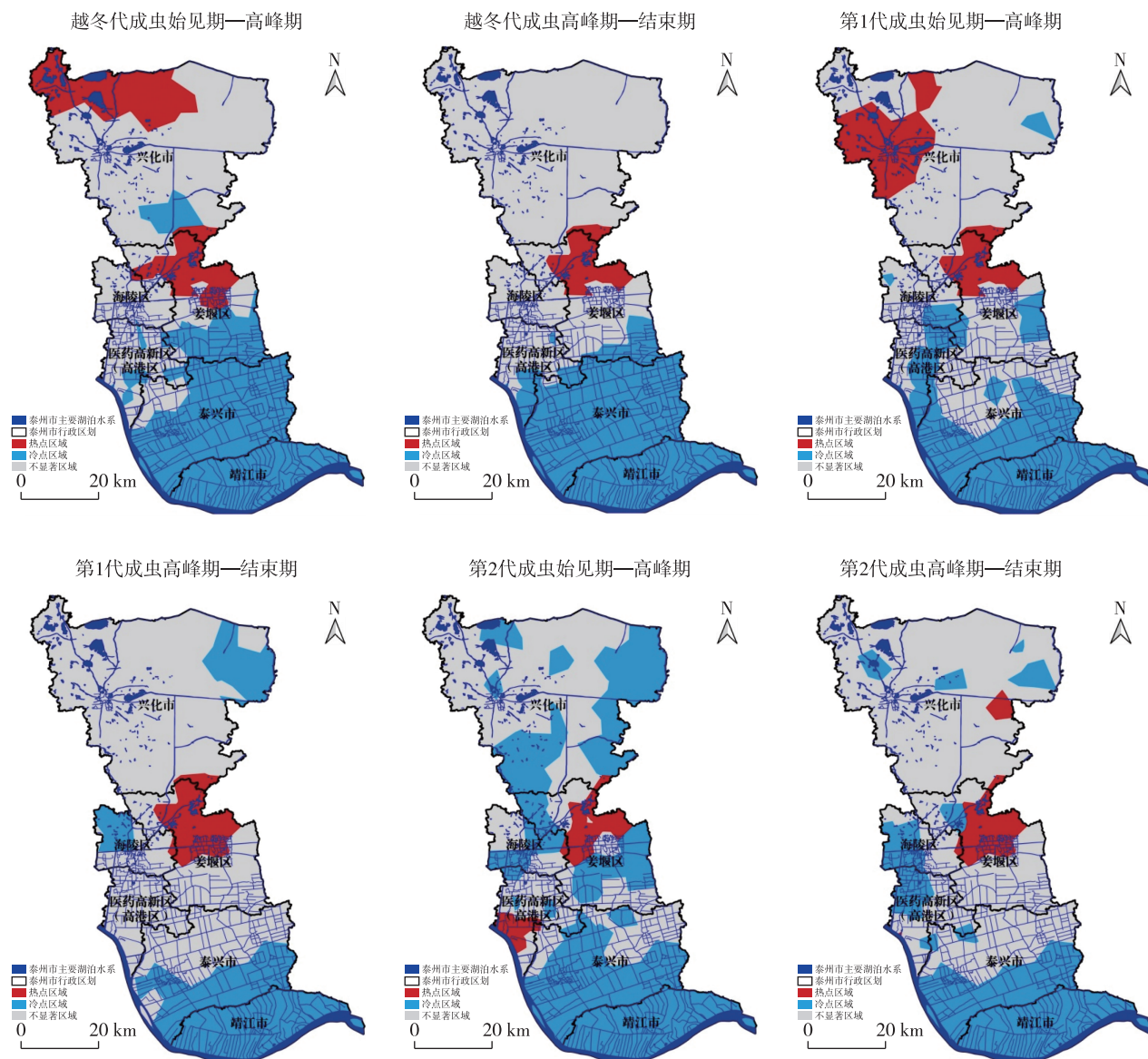


图2 2022年泰州市美国白蛾冷热点区域时空分布格局

3 结论与讨论

美国白蛾传入泰州市北部(老通扬运河以北)时间较长,2015年首先在兴化市与盐城市交接的北部乡镇发现疫情。美国白蛾对当地生态环境适应后形成了稳定的种群,疫情快速扩散至兴化市全域和姜堰区北部,并在姜堰区北部和兴化市西北部的湖荡密布地区形成了热点区域。研究表

明,随着美国白蛾在一个地区定殖时间的持续,当地的天然敌种类和自然控制能力趋于稳定^[14]。近年来兴化市和姜堰区疫情趋于平稳,兴化市在踏查过程中已发现捕食美国白蛾幼虫的本地生物天敌。未来美国白蛾在泰州市北部的外来性将逐步降低,最终成为一种常发性有害生物。美国白蛾传入泰州市南部(老通扬运河以南)时间较短,2022年在医药高新区(高港区)首次发现疫情,尚

无热点区域分布。美国白蛾已逐步适应泰州市南部的生态环境,种群处于扩繁阶段,疫情集中分布在个别疫点村(社区),但扩散势头明显,未来有扩散暴发的可能。泰州市南部(老通扬运河以南)河网密布,农村偏远地区沿河林网将是美国白蛾南下扩散过程中潜在的热点区域。

热点区域美国白蛾成虫密度较大,其毗邻地区成虫自然扩散输入风险较高,以上地区疫情极易发生,是重点防治区域。热点区域已覆盖姜堰区和兴化市部分城区,需警惕美国白蛾扰民事件发生。姜堰区北部与盐城市东台市交界,兴化市西北部与盐城市盐都区和扬州市宝应县、高邮市交界,在对 2 个热点区域进行防治时,应加强与周边市、县的联防联控,提高防治效率。不显著区域范围内湖荡、河网密布地区是美国白蛾潜在的热点区域,应适当加密监测点布设,做好预防性防治,防止美国白蛾扩散暴发。冷点区域美国白蛾成虫密度较小,疫情发生风险相对较低,该区域防控工作应以监测为主,及时掌握美国白蛾扩散动向。基层林业部门可根据美国白蛾冷热点区域变化动态,及时调整防控策略。

本研究使用的 QGIS 和 GeoDa 处理软件具有可免费下载、中文操作界面、简单易用、对电脑配置要求低等优点,适用于基层林业部门工作使用。在日常监测预报中可适当降低可视化表达效果,分析对象由“面要素”变为“点要素”,利用 GeoDa 软件直接对监测点属性进行局部空间自相关分析并输出热点监测点和冷点监测点空间分布图,不必利用 QGIS 软件进行泰森多边形划分和制图,进一步简化处理环节,降低专业难度。本研究所用方法适合在基层林业部门推广应用,以期为实现美国白蛾精细化、科学化防控提供新思路。

参考文献:

- [1] 成新跃. 美国白蛾的发生与防控[J]. 生物学通报, 2022, 57(6): 1-5.
- [2] 叶江霞,王敬文,张明莎,等.基于空间矩阵模型及 0—1 测度的美国白蛾风险格局分析[J].林业科学,2021,57(1):140-152.
- [3] 纪烨琳,苏喜友,于治军.基于随机森林模型的美国白蛾在中国的潜在生境预测[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(6):121-128.
- [4] TOBLER W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region [J]. Economic Geography, 1970, 46 (supl): 234-240.
- [5] 景天忠,李田宇.森林害虫发生的空间模式研究进展[J].生态学报,2018,38(10):3414-3421.
- [6] 赵金文,古 剑,肖正利,等.湖北宜昌市 2018—2021 年松材线虫病疫情扩散时空演变分析[J/OL].中国森林病虫:1-8[2023-04-11]. <https://doi.org/10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20220066>.
- [7] 许章华,刘 健,余坤勇,等.福建省马尾松毛虫害空间自相关分析[J].安全与环境学报,2013,13(6):167-171.
- [8] 林 琳,于善栋,张英军,等.昆崙山腮扁叶蜂幼虫空间自相关研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2009,33(6):63-68.
- [9] 张 越. 基于 GS 和 GIS 的北京地区美国白蛾时空分布研究[D].北京:北京林业大学,2018.
- [10] ANSELIN L. Local indicators of spatial association—LISA [J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2): 93-115.
- [11] MORAN P A P. Notes on continuous stochastic phenomena[J]. Biometrika, 1950, 37(1-2).
- [12] GETIS A, ORD J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics [J]. Geographical Analysis, 1992, 24 (3): 189-206.
- [13] LI J L, CHEN J Y, CAI P. Research progress of occurrence and comprehensive control of fall webworm [*Hyphantria cunea* (Drury)] [J]. Plant Disease and Pests, 2013, 4(4): 32-35, 44.
- [14] 李德斌,卢修亮,何 姗,等.东北地区美国白蛾灾害扩散过程和趋势分析[J/OL].中国森林病虫:1-8[2023-04-20].<https://doi.org/10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20220069>.