

松树萎蔫病发生中心化趋势和扩散模式研究^{*}

张忠诚^{1,2}, 毛振宾³, 欧阳华²

(1. 中国动物卫生与流行病学中心, 山东 青岛 266032

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 国家食品药品监督管理局, 北京 100062)

摘 要: 基于 GIS 挖掘松树萎蔫病发病林型几何质心, 利用空间计量统计的方法探求松树萎蔫病扩散的模式。结果显示: 滁州地区松树萎蔫病的发生呈现随机分布的态势, 空间均值模型和加权标准化距模型的计算发现松树萎蔫病发生的空间特征向量—空间均值点位与首次江苏省松树萎蔫病发病区域的江浦区有较近的空间距离关联, 空间均值出现在全椒县东北方位、滁州市东南方位和江苏南京市江浦区西侧方位的区域。加权的标准化距 (SID) 为 58.133 km, 理论上推断以该均值点为中心, 发散范围可以达到周边以 58.133 km 为半径的区域。根据加权标准化离均差椭圆参数 (SDE) 模型拟合得出松树萎蔫病发病点理论扩散趋向为西北—东南方向与正北左倾为 62.373 的角度, 理论扩散的范围为长轴 46.75 km、短轴 20.34 km 的椭圆形区域。

关键词: GIS 几何质心; 松树萎蔫病; 扩散趋势

中图分类号: R181.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 06-0074-05

松材线虫 [*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer, 1934) Nickle, 1970] 是国际上重要的有害入侵生物, 对环境健康有巨大影响^[1-2]。它在 1929 年在长叶松 (*Pinus palustris* (Engl.) Miller) 上首次被发现, 之后由 Maniwa & Kiyohara 命名为 *B. lignicolus* Maniwa & Kiyohara (Nematoda: Aphelenchidae), 1969 年 Tokushige & Kiyohara 在一段枯死的松木上发现了 *Bursaphelenchus* sp. 线虫, 并在 1971 年通过人工接种试验证明了这种线虫的病原毒性, 目前这种线虫已被认为是松树萎蔫病的病原。松材线虫导致的松树萎蔫病已经在日本、美国、韩国等很多国家和地区报道发生^[3]。该病在中国的第一次报道是在 1982 年江苏南京江浦区的中山陵^[4]。松树萎蔫病的病原线虫—松材线虫有较强的传染性^[5-9], 其传播媒介主要是墨天牛属的几个种 (*Monochamus* spp.)^[6-7], 其次存在疫木等物理和机械途径传播的可能, 通过在公路、口岸、边境等物流渠道在区域间传播和扩散。当前我国松树萎蔫病发生形势严峻, 南方广大林区为松树萎蔫病潜在发生的适宜区域^[5]。目前国内在传染性疫病空间扩散机制的研究上还未受到重视, 对传染性疫病的扩散过程还处在摸索阶段。本文的主要目的是在区域尺度内基于地理信息技术, 通过对松树萎蔫

病发病的空间特征向量的分析来对该病在区域内分布格局进行分析, 以期对松树萎蔫病在区域尺度内空间扩散机制的认知提供一定参考。

1 材料和方法

1.1 数据来源

本文的松树萎蔫病发病数据来源于安徽省森林防治总站以及滁州、来安、全椒、定远、嘉山、当涂和马鞍山等县级森林防治站对松材线虫实地调查和监测数据, 以及一些内部发行的松材线虫资料。这些空间数据都用相同的投影和椭球体技术进行处理。

1.2 空间定位和表达及发病林型质心挖掘

通过地理信息系统将研究区域范围内的 148 个乡镇进行了空间定位, 以发病乡镇为单元来统计和关联区域内松树萎蔫病的发病状况。利用 GIS 技术对发病空间信息和基础植被等信息进行地理切割和融合。产生发病林型的几何质心以便在尽可能小的细节上表达发病的状况。

1.3 空间统计方法

1.3.1 标准化距离参数 (Standard Distance)

通常情况下, 为描述一组事件的分布情况, 在空间上采用的方法为标准化距离参数 (SID) Standard

* 收稿日期: 2006-11-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2005CB422005); 中国科学院知识创新工程重大项目资助项目 (KSCX1-SW-13)

作者简介: 张忠诚 (1973 年生) 男, 博士, 副研究员, E-mail: Bursaphelenchu@yahoo.com

Distance)。标准化距离参数可以用来表达一组事件在空间上的扩散程度和趋势，一组事件的发生分布离它的空间中心值或空间均值分布越分散，说明事件扩散范围越大，影响也就越大。

在常规统计学中，对于度量数据离散程度的类似的指标是标准化离均差。在给定的一系列的本点的值， $X_i \ i=1, 2, 3, 4 \cdots, n$ 标准化离均差 (SD Standard Deviation)，可以通过以下的公式得到表达：

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}{n}}$$

这其中， $\bar{x}$ 为样本数据的均值。标准化的离差在理论上为离均差的平方根。

标准化距离参数 (SD Standard Distance) 为常规统计中标准化离差在空间地理上类似的概念。在常规统计中，标准化离差为观测值离均值的离散描述，而标准化距离参数则为在地理空间上事件（点）分布与中心事件或关键事件（点）空间关系的一个定量指标。标准化离差所用单位为所观测值的单位，但标准化距离参数则以距离为单位。标准化距离参数可以通过下面的公式表达：

$$SD=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x}_{mc})^2+\sum_{i=1}^n(y_i-\bar{y}_{mc})^2}{n}}$$

这其中 $(\bar{x}_{mc}, \bar{y}_{mc})$ 为点分布的中心点 (Mean Center)。

在对离散点中心点值进行运算的时候，需要依靠各点空间属性和中心点值空间位置给出离散点的权重。以权重函数修正的标准化距离参数的函数表达式如下：

$$SD=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^nf(x_i-\bar{x}_{mc})^2+\sum_{i=1}^nf(y_i-\bar{y}_{mc})^2}{\sum_{i=1}^nf}}$$

其中 f 为给定点 (x_i, y_i) 的权重函数值。

1.3.2 标准化离均差椭圆参数 (SDE Standard Deviation Ellipses) 在空间范围内，事件点的发生通常局限在特定的自然地理的空间范围内，并且会受自然地理状况分异的影响，故而导致事件发生在空间上产生各向异性，标准化离均差椭圆参数对空间上离散事件发生的各向异性具有比较好的描述和拟合效果。

标准化离均差椭圆参数 (SDE Standard Deviation Ellipses) 是标准化距模型的发展和延续。它可以很好的表达和传递一组事件分布的信息以及分布趋向。有三个主要参数来描述标准化离均差椭圆 SDE 参数，它们是角度 θ (长轴与正北夹角)、

长轴和短轴。在长轴方向上为扩散的主要方向，在短轴方向上为扩散的次要方向。这两个轴可以认为是笛卡尔坐标按照一定的角度所作的转动，而在区域空间上的角度和轴长的确定是按照地理区域内给定属性特征的点集或事件的分布特点和发展趋势来拟合的。

计算标准化离均差椭圆 SDE 的 3 个参数 (θ 长轴和短轴) 可以按照如下的步骤进行：

1. 计算这一系列的点集的坐标中心 (the Coordinates of the Mean Center $(\bar{x}_{mc}, \bar{y}_{mc})$)，这个点可以认为是转化的坐标系的原点。

2 对于任何一个点 $P_i(x'_i, y'_i)$ ，它的坐标可以按照如下的方式转化

$$\begin{aligned}x'_i&=x_i-\bar{x}_{mc}\\y'_i&=y_i-\bar{y}_{mc}\end{aligned}$$

在坐标系的转化完成后，所有的点都是以中值点 (转化的坐标系的原点) 为中心的。

3 计算转化的角度 θ 公式如下：

$$\tan\theta=\frac{(\sum_{i=1}^nx_i^2-\sum_{i=1}^ny_i^2)+\sqrt{(\sum_{i=1}^nx_i^2-\sum_{i=1}^ny_i^2)^2+4(\sum_{i=1}^nx_iy_i)^2}}{2\sum_{i=1}^nx_iy_i}$$

其中 n 为事件点的个数

4 计算点集的标准化离均差椭圆在长轴和短轴方向上的扩散参数。

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}&=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x'_i\cos\theta-y'_i\sin\theta)^2}{n}};\\ \hat{\beta}&=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x'_i\sin\theta-y'_i\cos\theta)^2}{n}}\end{aligned}$$

2 结 果

2.1 研究区域植被及松树萎蔫病发病状况

安徽滁州地区地处亚热带北缘，气候温和，年均温 15℃ 度左右，非常适合松树萎蔫病的发生。在马鞍山、当涂、滁州、全椒、定远、嘉山、来安等 7 县区，主要的植被有大面积的人工林地、天然草地和产生生长状况不同的人工草场以及大量分布的未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地等。该地区植被类型复杂，主要为马尾松和黑松占优势的混交林以及由零星分布的马尾松和黑松分布的果园和草地，集中成片分布特点典型，这也为松材线虫病的连续发生和蔓延提供了可能。该区共有林地 13.33 多万 hm^2 ，占全区土地面积的 8.36%，活立木蓄积量 500 多万 m^3 ，森林覆盖率 10% 以上，主要以松材线虫易感树种的分布为主。

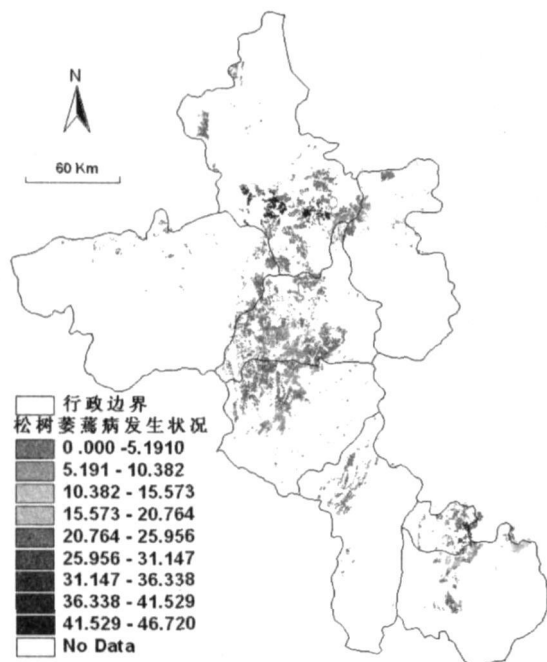


图1 研究区域松树萎蔫病发病状况

Fig. 1 Current status of PWD in given region

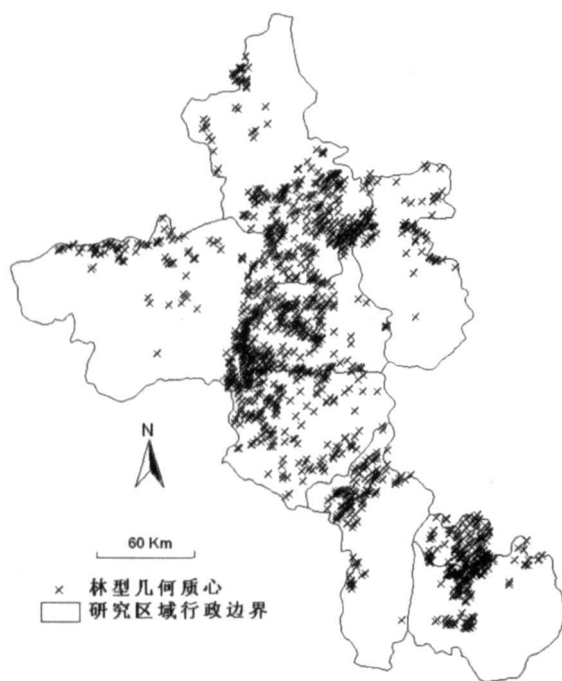


图2 研究区域 PWD 发病林型点分布

Fig. 2 Centroid of PWD in given region

通过对该地区松树萎蔫病发病调查,发现发病主要集中在马尾松纯林以及马尾松和黑松的混交林。在本地区国营林厂分布有大面积的人工马尾松林以及黑松林,这些林场等都有不同程度的发病。此外,在滁州、全椒、来安、当涂等县部分乡镇也有一定面积的零星人工种植林的感染。大面积的松材线虫感病树种的存在为本地区松树萎蔫病发生提

供了适宜条件。

在滁州地区松材线虫感病的寄主类型表象上呈现一定程度的集聚分布的特征。图1为滁州和马鞍山地区松树萎蔫病空间分辨率为 $27\text{ m} \times 27\text{ m}$ 的 GRID 格网分布图。可以看出在滁州地区严重发病地区的空间位置分布在明光县的管店林业总厂和马鞍山的衡山林场、马鞍山市林场等老区。

2.2 中心化趋势和扩散模式

疫病发生通常可以分为均匀分布、随机分布和集聚分布这样3种模式。由于在一定地理空间上疫病发生除了具有自然属性,通常与经济、人文等社会属性紧密相连。根据2002年在滁州地区的实地调研发现由于疫木的移动导致疫病发生和扩散的许多实例。根据地理学第一定律^[8],相邻事件接触和信息交流概率要大于距离较远的,空间距离在决定事件随机发生的模式上具有显著的意义。

利用地理空间上的标准化距离参数 SID 模型和标准化椭球体参数 SDE 模型,来研究松树萎蔫病在滁州地区7个县区148个乡镇发病林型的中心化趋势和随机扩散的模式。图2为滁州地区松树萎蔫病发病林型的点空间分布模式。通过空间点位分析已得出滁州地区松树萎蔫病的发生不是均匀分布^[9],发病点位在滁州地区的明光和马鞍山从表象上显现出一定的集聚分布特点,在滁州地区其他范围内松树萎蔫病则显现出零星的、随机分布态势。发病空间范围从零星发生的滁州北部和西部地区逐渐延伸到南部和东部的和江苏省接壤的乡镇。江苏南京是我国最先报道松树萎蔫病发生的地区。多年来马鞍山地区发病被认为是临近地区疫病扩散的结果。

滁州和马鞍山地区松树萎蔫病发病以林型为单位点分布空间均值 (Spatial Weighted Mean) 和标准化距离参数以及标准化离均差椭球参数可以参见图3-4。通过空间均值模型和加权标准化距 (发病率 & 空间距离为权重因子) 模型计算发现松树萎蔫病空间均值出现在全椒县东北方位、滁州市东南方位和南京市江浦区西侧方位区域,加权标准化距为 58.133 km 。理论上推断以该空间均值点为中心发散范围可以达到 58.133 km 为半径的区域,而南京江浦区是我国松树萎蔫病最初发病的区域。因此从这个角度也可以作为滁州地区发病源于江浦区扩散的间接证据。根据标准化离均差椭球参数模型得出松树萎蔫病发生的 SDE 模型的特征值:在长轴和短轴上的扩散指标分别为 ($\hat{\alpha}=46.75\text{ (Km)}$, $\hat{\delta}=20.34\text{ (Km)}$, 角度 $\theta=62.373^\circ$)。即松树萎蔫病发病点位扩散趋向方向为正北向左倾斜度

62.373°, SDE 椭圆长轴方向为西北—东南方向, 即这一方向为松树萎蔫病扩散的主要方向。位移和转动角度的正切、正弦和余弦值分别为: $Tan\theta=-0.523\ 387$, $Sin\theta=0.885\ 985$, $Cos\theta=0.463\ 713$ 。

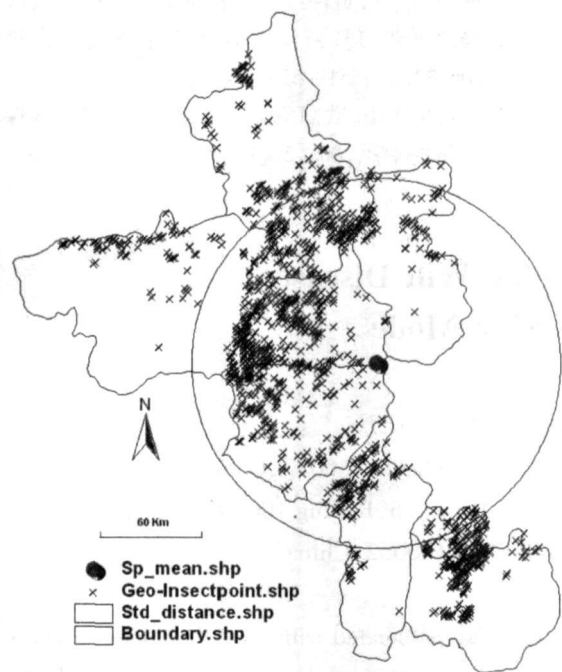


图 3 松树萎蔫病发生的空间均值和 STD
Fig. 3 Spatial mean & STD values for PWD range

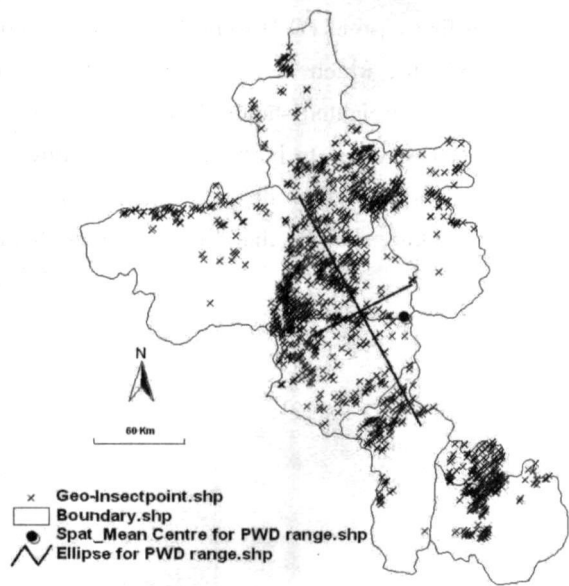


图 4 松树萎蔫病发生的 SDE 模型
Fig. 4 SDE for PWD range in concerned region

3 结论和讨论

松树萎蔫病在滁州地区的发生和分布不是均匀分布, 发病点位显现出零星随机分布的态势。通过空间均值模型和加权标准化距模型的计算发现: 滁

州地区松树萎蔫病发生的空间特征向量—空间均值点位存在的空间位置与首次江苏省松树萎蔫病发病区域江浦区有较近的空间距离关联。松树萎蔫病空间均值出现在全椒县东北方位、滁州市东南方位和江苏南京市江浦区西侧方位的区域, 加权的标准化距 SID 为 58.133 km, 理论上推断以该空间均值点为中心发散范围可以达 58.133 km 为半径的区域。根据标准化离均差椭圆参数 (SDE) 模型得出松树萎蔫病发生的 SDE 特征值为 $\hat{\alpha}=46.75\text{ Km}$, $\hat{\delta}=20.34\text{ Km}$, 角度为 62.373°, 即松树萎蔫病发病点位理论扩散趋向为在西北—东南和正北向左倾角 62.373° 的方向上, 理论扩散拟合扩散范围为长轴 46.75 km, 短轴 20.34 km 的椭圆形区域 (参见图 4), 这一区域基本上可以很好的涵盖滁州地区的嘉山、来安、定远、滁州和全椒等县区的发病点位, 而位于长江水域以南地区的当涂和马鞍山发病点位 SDE 模型则不能很好的表达, 这很有可能是由于自然地理的物理性隔离使松树萎蔫病发病在该区与长江以北几个县区发病具有相对独立性的缘故。

松树萎蔫病是具有一定传染性的疫病, 明确其发生的分布模式对疫病干预的强度和密度具有指导意义。同时通过对不同时间尺度上大量发病空间点位的分析, 可以为疫病控制在时间—空间扩散模拟认知上提供科学参数。松树萎蔫病发生需要综合病原、传播媒介以及环境相互作用。目前在松树萎蔫病的病原研究上已经得以确认, 而在传播媒介和环境背景上还存在诸多不确定性。疫病发生除了具有自然属性外, 经济、人文等社会属性对疫病扩散权重也越来越大。在不断完善监测机制的情况下, 逐步建立和健全标准化监测网络和共享数据接口, 挖掘和融合不同尺度不同属性信息来探求生态系统健康状况^[10]及疫病在不同空间尺度上扩散的机制, 可以为疫病的风险管理及其有效干预提供科学参考。

参考文献:

[1] WAAGE JK. A global strategy to defeat invasive species [J]. Science, 2001, 292(5521): 1486
[2] LIEBHOLD A M, MACDONALD W L, BERGDAHL D et al. Invasion by exotic forest pests: A threat to forest ecosystems [J]. Forest Science Monograph, 1995, 30: 1—7
[3] EVANS H F, MCNAMARA D G, BRAASCH B et al. Pest risk analysis (PRA) for the territories of the European Union (as PRA area) on Bursaphelenchus xylophilus and its vectors in the genus Monochamus [J]. Bulletin OEPP, 1996, 26: 199—249
[4] 程瑚瑞. 松树萎蔫病的发生和研究进展 [J]. 植物检

- 疫, 1988 2(1): 11—17.
- [5] 张志诚, 牛海山, 黄保续, 等. 基于 GIS 的中国松树萎蔫病发生的适应性评价 [J]. 兰州大学学报, 2005 41(5): 27—32
- [6] MAMIYA Y K IYOHARA T. Description of *Bursaphelenchus lignicolus* n. sp. (Nematode: Aphelenchoididae) from pine wood and histopathology of nematode infested trees [J]. Nematologica 1972 18: 120—124
- [7] MAMIYA Y. Pine wood nematode *Bursaphelenchus lignicolus* Mamiya and Kiyohara as a causal agent of pine wilting disease [J]. Review of Plant Protection Research 1972 5: 46—60
- [8] TOBLER W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region [J]. Economic Geography 1970 46 (Suppl): 234—240
- [9] 张志诚, 孙江华, 黄保续, 等. 基于 GIS 松树萎蔫病发生格局的研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006 32(5): 551—556
- [10] 张志诚, 牛海山, 欧阳华. “生态系统健康”内涵探讨 [J]. 资源科学, 2005 27(1): 136—145

The Central Tendency of Pine Wilt Disease and Its Range Dispersion Mode

ZHANG Zhi-cheng^{1,2}, MAO Zhen-bi¹, OUYANG Hua²

(1. China Animal Health and Epidemiology Center, Qingdao 266032, China;

2. Institute of Geographical Sciences & Natural Resources Research, Beijing 100101, China;

3. State Food and Drug Administration, Beijing 100062, China)

Abstract: Employing GIS technique to mine centroid of forestry stands associated with spatial statistic to analysis the point range pattern of Pine Wilt Disease (PWD). Through the visualization of the mapped centroid PWD occurrence distribution showed that PWD status in Chuzhou and Maanshan region looked to be a sporadic random range. Further insights were derived that weighted spatial mean of the centroid point of PWD were detected locating in the county closely neighboring to the Jiangfu county where national first case of PWD were diagnosed and confirmed. Weighted Standard Distance (SID) were derived to be 58.133 km, which indicated that PWD could be theoretically dispersed within a radius of 58.133 km. The parameters of the weighted standard deviation ellipses (SDE) were derived that the angle of the deviation along the north were calculated to be 62.3730°, revealing that the direction of northwest-southeast could be the PWD main dispersion tendency. The deviation along minor axis and major axis were calculated correspondingly to be 46.75 km and 20.34 km, showing that ellipses region characterized above parameters could be ranged by PWD potential dispersion.

Key words: GIS; centroid; pine wilt disease; dispersion tendency