

松材线虫在我国的潜在适生性评价

吕全, 王卫东, 梁军, 严东辉, 贾秀贞, 张星耀

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要: 依据松材线虫的生物学特性及其生长发育与环境的关系, 定量地刻画松材线虫在我国的潜在适生区。选取年均温(T)、6、7、8月均温(TN)、海拔(H)、25℃以上的天数(D)和年降水量(W)5项气候生态因子, 应用模糊综合评判的数学方法定义5因子的隶属函数, 以国家气象局气象资料室获取近30a全国639个台站的原始气象数据为依据, 利用Qbasic 6.0编制处理原始数据程序, 把各个因子的原始气象数据根据各自定义隶属函数进行标准化处理得出隶属度, 建立模糊综合评判矩阵, 得出各个台站适生值。利用MapInfo 7.5制作专题图, 并划分出 $\mu > 0.9$ 为最适宜; $\mu > 0.8$ 为适宜; $\mu > 0.7$ 为可以适宜; $\mu > 0.6$ 为不适宜; $\mu < 0.6$ 为极不适宜环境类型。

关键词: 松材线虫; 模糊综合评判; 层次分析法; 权重; 适生值

中图分类号: S763 文献标识码: A

Potential Suitability Assessment of *Bursaphelenchus xylophilus* in China

LU Quan, WANG Wei-dong, LIANG Jun, YAN Dong-hui, JIA Xiuzhen, ZHANG Xing-yao

(Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Potential suitable area for the pine wood nematodes, *Bursaphelenchus xylophilus* were described quantitatively. According to its biological characteristics and relationship between its development and the environment, five key factors were chosen, namely yearly mean temperature, the mean temperature of July, June and August, altitude, days above 25 °C and precipitation. Their subordination functions were defined with math method of synthetic assessment on fuzzy mathematics. Climatic data of 639 sites obtained from State Weather Administration were processed by program of Qbasic 6.0 in order to get its subordination value, and comprehensive suitable value of every site was calculated by creation of fuzzy judgment matrix. Finally MapInfo 7.5 software was adopted for data collection, processing and analysis to make thematic map, five environmental types were graded according to comprehensive suitable value.

Key words: *Bursaphelenchus xylophilus*, synthetic assessment on fuzzy mathematics, Analytic Hierarchy Process, weight, comprehensive suitable value

松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus* Nickle)是一种在一定环境条件下通过昆虫媒介传播, 侵入松树体内导致松树迅速萎蔫死亡的森林有害生物。松材线虫自1982年在江苏南京中山陵首次发生以来, 又陆续在安徽, 浙江, 广东, 山东, 上海, 湖北, 重庆以及香港和台湾发现。我国松树种植面积占全国森林面

积的23%以上, 很多种松树为该病的感病寄主; 主要传播媒介松墨天牛(*Monochamus alternatus* Hope)分布广泛; 广大的地区有着适宜该病发生的气候条件, 因此松材线虫病在我国有着相当广泛的适生区。目前国内对该病虽然还控制在上述各个地区的局部范围, 但是, 随着改革开放, 我国在国际和国内的贸易

往来及各种交流日益频繁, 松材线虫继续传入和扩散蔓延的危险性日趋严重, 给我国林业和国民经济造成极大的损失, 森林生态环境与自然景观造成极大的破坏^[1]。适生性分析就是预测有害生物在未发生的新区可能适生的范围, 同时它也是有害生物风险分析研究中的重要内容之一^[2], 我国松材线虫的适生性分析虽已作了很多工作^[3-10], 从不同的侧面和程度上进行了松材线虫病的风险分析, 但仍不够具体和完善, 没有从整体上大范围综合考虑其生物生态学特性, 因此本文综合考虑松材线虫生物生态学特性, 定量地刻画了松材线虫在我国的适生分布范围, 对松材线虫的风险分析具有更重要的现实意义。

1 分析方法及数学模型的建立

1.1 模糊综合评判的基本原理与计算方法

所谓的模糊综合评判, 就是借助模糊关系的原理, 考虑了与被评判事物有关的各个因子的影响后, 对事物作出总的评价。设有 m 个评估地, 选每一评估地的 n 个性状作为评判因子, 根据每一评判指标的期望指标(指适合于松材线虫生长发育的关键因子)建立隶属函数, 据此便可计算出各因子实际指标对期望指标的隶属程度, 简称隶属度。每一评估地对各期望指标的隶属度就构成了一个 $n \times m$ 阶矩阵^[11]。其数学模型为:

$$B = A \cdot R \quad (1)$$

其中式中: $B = [b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad \dots \quad b_n]$ 表示对多个因素经过计算得出的综合评判结果; $A = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad \dots \quad a_n]$ 表示各个因素权重分配(权重)的一个模糊子集, 满足 $a_j > 0$ 且 $\sum_{j=1}^n a_j = 1$; R 由各个评估地各因子的隶属度构成的可用一个 $[0 \quad 1]$ 闭区间上的 $m \times n$ 模糊矩阵表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

是对各个地区各因素作出的评价, 其中的 r_{ij} 表示第 i 个地区第 j 个因素的隶属度。

1.2 具体评价步骤

1.2.1 影响松材线虫适生因子的确定 松材线虫病

的发生与环境条件有着密切的关系, 在气温、土壤湿度、海拔高度等环境因素中气温则是主导因素^[1], 它直接影响着松材线虫的生长发育及病害的发生和发展, Mamiya^[12] 报道松材线虫低于 10°C 不能发育, 在 28°C 以上增殖会受到抑制, 在 33°C 以上不能繁殖; 并认为一个地区的年平均气温可作为该地区松材线虫病发生的重要指标, 如日本发病最严重的南部地区, 年平均温度在 $15\sim 17^\circ\text{C}$ 以上; 而日本北部, 年平均温度在 $10\sim 12^\circ\text{C}$ 以下, 发病轻微。据分析^[3], 松材线虫生长繁殖最适宜温度为 25°C , 在年平均气温高于 14°C 的地区普遍发生, 年平均气温在 $10\sim 12^\circ\text{C}$ 地区能够侵染寄主但不造成危害。另外夏季的高温和生长季节的干旱有利于病害的发生, 日平均气温高于 25°C 的天数持续 55 d 以上与病害的严重发生有着极为密切的关系^[3]。湿度对松材线虫的影响也是至关重要的, Necibi 等^[13] 报道松材线虫三龄幼虫的形成与木材的含水量成负相关。Halik 等^[14] 做了关于松木片含水量对松材线虫生长的影响实验, 表明在前 3 周内含水量只有 38% 松木片比其它含水量高的松木片能够分离到较多的松材线虫, Mamiya^[15] 当土壤含水量在 30% 以下, 并一直保持干燥, 则使苗木的死亡率增加; 如果每天浇水, 使土壤保持较高湿度往往不发生枯死, 病害的发生明显受到抑制, 海拔和病害的发生也具有相关性。日本九州的云仙、雾岛两山上病害的分布发现, 海拔 400 m 以下, 松材线虫病严重发生; 此上至 700 m 以下, 有病害发生, 高于此线以上, 很少见到松材线虫病死树^[16]。其它松材线虫病区发病与海拔的关系也表现出同样的趋势。因此根据以上松材线虫生物生态学特性, 分别选取年均温(T)、6, 7, 8 月均温(N)、海拔(H)、 25°C 以上的天数(D)和年降水量(W) 5 项气候生态因子作为松材线虫病发生的关键因子。

1.2.2 各个因子权重的确定 对一个多因素评判对象来说, 由于从不同的因子着眼, 而各因子之间又有不同权重, 因此确定各因子的权重也是评判结果是否客观的关键, 不少综合评判模型对指标的权重是根据经验确定的, 不免带有一定的主观性, 为能够客观地反映各因子所占权重, 笔者根据上述 5 项因子对松材线虫生长发育影响的程度, 利用层次分析法(AHP)和 F9 标度法建立判断矩阵(表 1), 利用方根法计算出各个因素所占的权重, 并进行一致性检验^[17]。当 λ_{max} 值稍大于 n , CR 小于 0.10 即认为判断矩阵具有满意的一致性。检验的结果为最大特征根 $\lambda_{max} = 5.001$, 矩阵偏离一致性指标 $CI = 0.00025$, 矩

阵随机一致性指标 $CR = 0.00023$, 表明 5 个因子权重确定的客观性。

表 1 评判因子判断矩阵

因素	T	N	D	W	H	权重	
年均温(T)	1	2	2	3	3	0.375	$\lambda_{max} = 5.001$
6, 7, 8月均温(N)	$\sqrt{2}$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0.187	$CI = 0.00025$
25℃以上的天数(D)	$\sqrt{2}$	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0.187	
年降水量(W)	$\sqrt{3}$	2/3	$\sqrt{3}$	1	1	0.125	$CR = 0.00023$
海拔(H)	$\sqrt{3}$	2/3	$\sqrt{3}$	1	1	0.125	

1.2.3 隶属函数与评语 应用模糊数学综合评判的方法, 建立隶属函数。确定当年均温 $T \geq 14$ °C; 6, 7, 8月均温 $N = 25$ °C; 地区海拔高度 $H < 400$ m; 1 a 中 25 °C 的天数 $D \geq 55$ d 时它们的值为 1, 并分别创建 5 项因子隶属函数如下:

$$\text{年均温: } \mu(T) = \begin{cases} 1 & x \geq 14 \\ (x-10)/4 & 10 < x < 14 \\ 0 & x < 10 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{海拔: } \mu(H) = \begin{cases} 1 & x < 400 \\ 1 - (x-400)/300 & 400 < x < 700 \\ 0 & x \geq 700 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{6, 7, 8月均温: } \mu(N) = \begin{cases} 1 & x = 25 \\ e^{-((25-x)/10)^2} & x \neq 25 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{25℃的天数: } \mu(D) = \begin{cases} 1 & x \geq 55 \\ x/55 & x < 55 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{年降水量: } \mu(W) = e^{-0.0001x} \quad (6)$$

根据各自的隶属函数求出各个台站各因子的隶属度, 再把各因子的权重系数注入到数值计算中求得综合适生值。并根据综合适生值大小作出规定: $\mu > 0.9$ 为最适宜; $\mu > 0.8$ 为适宜; $\mu > 0.7$ 为可以适宜; $\mu > 0.6$ 为不适宜; $\mu < 0.6$ 为极不适宜。

2 原始数据的获得及处理

本研究从中国气象局气象中心资料室获取了全国 650 个台站的 1971—2000 年地面气象资料, 作为原始数据, 但其中的某些台站缺少某年或某个气候指标, 所以要删除这些站点, 剔除后可供使用的站点有 639 个, 使用 Qbasic 6.0 编制原始数据处理程序, 求取各台站 5 项因子隶属度, 根据下式计算出各台站的总适生值 B:

$$B_i = \sum_{j=1}^n a_j \cdot r_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 5) \quad (7)$$

其中 B_i 为各个台站的总适生值, a_j 为各个气象因子的权重, r_{ij} 为各个因子的隶属度。

3 结果与讨论

3.1 结果

通过对全国 639 个台站的分析, 有 217 个站点最适宜松材线虫的生长发育; 62 个站点适宜; 28 个站点可以适宜; 33 个站点为不适宜; 299 个站点为极不适宜。利用 MapInfo 7.5 制作专题图(图 1), 显示了全国 639 个站点的地理位置及其适生值分类。从专题图的分析结果来看松材线虫的适生区主要集中在我国的华东和华南地区, 包括北京的南部, 天津, 河北南部, 山西南部, 山东, 河南, 湖北, 湖南, 江苏, 浙江, 江西, 安徽, 陕西南部, 四川东南部, 重庆, 贵州, 云南, 广西, 广东, 福建, 海南, 新疆的部分地区。分析结果包括了当前我国所有的松材线虫实际发生地。

3.2 讨论

本研究利用模糊综合评判的研究方法, 创建数学模型, 根据前人对松材线虫研究的资料, 结合各个地区地理气候资料, 利用地理信息系统 MapInfo 7.5 来模拟松材线虫在我国的潜在适生区, 研究结果与当前我国的松材线虫实际发生地相符合。宋玉双^[3]利用年均温大于 10 °C 地区定为松材线虫的适生区, 而未考虑年均温与其它因子的综合作用, 其结果得到的适生范围要比本研究所得到的适生范围要大; 蔡青年^[7]和刘海军^[10]采用 Climex 系统使用温度和水分两个指标来预测松材线虫在我国的分布区, 其结果与本研究的结果基本一致, 但未把新疆的部分地区划分在适生范围之内。本研究显示, 新疆的部分地区也适合松材线虫的生长发育, 由于新疆幅员辽阔, 其面积和地形起伏相对复杂, 在吐鲁番, 年均温为 14.4 °C, 6、7、8 月的均温达到了 30.9 °C, 大于 25 °C 的天数达到了 120.53 d, 并且低海拔少雨, 其松材线虫的适生值达到了 0.943 833。这是由于它所处的特殊的盆地地形所造成的, 因此极为适合松材线虫的生长发育, 同时和田也具有与吐鲁番相似的

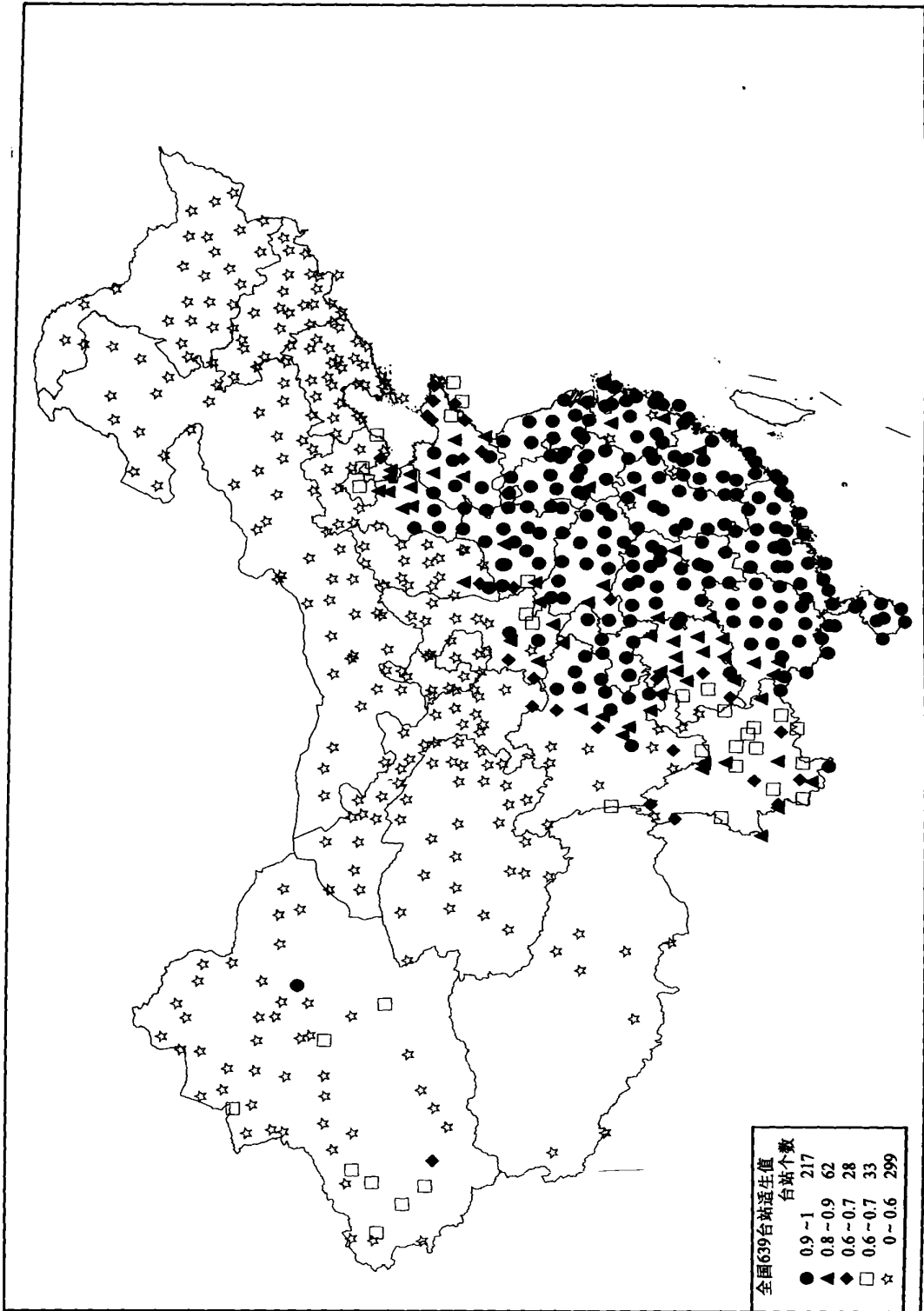


图 1 中国大陆 639 个台站适生性值分类专题图

地形条件,其适生值达到了 0.714 48。本文通过建立多因素模糊综合评判,主要通过建立隶属函数所得到的值和各因子的权重系数注入到数值计算中,把各地单项因素累加综合反映了各地隶属函数的量化程度,因此能较好地反映各地总体条件的差异。

本文将层次分析法(AHP)与模糊数学原理相结合对松材线虫的在各地的适生性进行综合评判,减少了权重确定过程中的主观随意性,使之更加客观科学。

有害生物的适生性分析作为一种区域研究,要求将定量分析和空间分析相结合,地理信息系统正是这种结合的较好体现,本文使用的地理信息系统 MapInfo 是一个计算机化的地理信息数字分析处理系统,它可以采集、存储、管理、处理和综合分析显示地理信息,并输出数据和提供图形服务,最后得到非常直观的判别结果,为定量研究和空间分析提供了综合的手段。

通过本项研究,对松材线虫的潜在适生分布区有了一个明确直观的了解,对于重点预防区的侵入和危害起着预警和应急的作用;对于可能发生的地区,应该引起当地主管部门的高度重视,采取适当的检验检疫措施防止松材线虫的入侵;对于国内外森林植物检疫,能起到提供科学依据的作用,以保护和促进松木及其制品在贸易中的正常流通。

本研究使用了全国 639 个台站的气象数据,基本覆盖了全国的各省市(不包括香港,澳门和台湾),但 639 个台站在各个省市的分布极为不均匀,其中新疆最多为 54 个,就分布密度而言西藏的最小仅有 7 个台站。加上有些地区地形复杂,每一个行政县范围(指分析适生范围的单位)的面积都很大。各县境内海拔高度差异很大,气候要素和生态环境亦因之有很大不同,因此对某些地区的预测会带来一些困难。

本研究主要是依据与松材线虫生长发育相关的气象因子为数据进行分析得到松材线虫的生态地理分布,并未考虑其寄主因子影响。适生性分析是松材线虫风险分析的重要内容之一,考虑松材线虫寄

主及其媒介昆虫综合影响,进行各地区风险评估正在做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 杨宝君,潘宏阳,汤坚,等. 松材线虫病[M]. 北京:中国林业出版社,2003
- [2] 刘红霞,温俊宝,骆有庆,等. 森林有害生物风险分析研究进展[J]. 北京林业大学学报,2001,23(6):46~51
- [3] 宋玉双. 松材线虫在我国适生性分析及检疫对策初探[J]. 森林病虫害通讯,1989(4):38~41
- [4] 高天裕. 松材线虫在我国的适生分析[J]. 植物检疫,1987,1(3):215~219
- [5] 史东平,张华跃. 浅谈松材线虫病对我省林业生产的潜在威胁及检疫对策[J]. 江西植保,1997,20(1):26~27
- [6] 魏初奖. 松材线虫病在福建省的潜在危险性分析及检疫对策[J]. 福建林业科技,1997,24(1):54~57
- [7] 蔡青年. 松萎蔫病在我国潜在适生地分布研究初探[D]. 北京:北京农业大学,1993
- [8] 金昊. 从适生性分析松材线虫对云南松树树种的威胁[J]. 云南林业科技,1993,(2):58~60
- [9] 冯士明. 松材线虫在云南发生的可能性及预防对策[J]. 植物检疫,2000,14(5):289~290
- [10] 刘海军. 北京地区林木外来重大有害生物风险分析[D]. 北京:北京林业大学,2003
- [11] 张星耀. 森林病理学研究的生态数学方法[M]. 北京:中国林业出版社,1999
- [12] Mamiya Y. Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*[J]. Ann Rev Phytopathol, 1983, 21: 201~220
- [13] Necibi Semi, Linit Marc J. The role of wood moisture content and *Monochamus carolinensis* life stages on pinewood nematode development [A]. International Symposium on Pine Wilt Disease Caused by Pine Wood Nematode[C]. Beijing, 1995. 103~107
- [14] Halik S, Bengdahi D R. Development of *Bursaphelenchus xylophilus* population in wood chips with different moisture contents[J]. Journal of Nematology. 1990, 22(1):113~118
- [15] Mamiya Y. Initial pathological changes and disease development in pine trees induced by the pine wood nematodes, *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Ann Phytopathol Soc Japan, 1985, 51(5):546~55
- [16] 张星耀,骆有庆. 中国森林重大生物灾害[M]. 北京:中国林业出版社,2003:1~29
- [17] 赵焕臣. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京:科学出版社,1986