

## 松材线虫入侵对森林生态系统的影响

徐华潮<sup>1,2</sup>, 骆有庆<sup>2</sup>

(1. 浙江林学院 森林保护研究所, 浙江 临安 311300; 2. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 综述了因松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 入侵对松林内植物群落演替、节肢动物群落、鸟类群落及微生态环境方面的影响, 展望了松材线虫病在生态系统水平上的研究方向。在探究松材线虫病的防控技术及措施上, 一方面要深入探讨松材线虫的入侵机制, 揭示它们对特定森林生态系统结构和功能的影响; 同时还应从增强系统自身抵抗性和系统应对生物灾害的自我补偿和生态修复能力入手, 以期从生态尺度上探求松材线虫病的防控策略。参 36

**关键词:** 森林保护学; 入侵; 松材线虫; 群落; 生态系统; 综述

中图分类号: S716 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)03-0445-06

## Ecosystems attacked by *Bursaphelenchus xylophilus*: a review

XU Hua-chao<sup>1,2</sup>, LUO You-qing<sup>2</sup>

(1. Institute of Forest Protection, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. The key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper summarized research in an arthropod community, an avian community, and a micro-ecological-environment after vegetative succession in response to an attack of pine wilt disease from *Bursaphelenchus xylophilus*. Two aspects should be considered for prevention and control of this disease: 1) pest infestation methods and 2) disease influence on structure and use of wood resources. Also, at the ecosystem level, increasing tree resistance to *B. xylophilus* invasion as well as strategies and methods of prevention and control of the disease, should be studied. In addition, future research on pine wilt disease is discussed. [Ch, 36 ref.]

**Key words:** forest protection; invasion; *Bursaphelenchus xylophilus*; community; ecosystem; review

由松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 引起的松材线虫病是一种重要的国际检疫性病害<sup>[1]</sup>。松材线虫能危害 58 种松属 *Pinus* 树种和 13 种非松属树种 (其他的松科 *Pinaceae* 植物)。中国自 1982 年在南京中山陵发现该病以来, 又在浙江、安徽、广东等地相继发现<sup>[2]</sup>。由于松材线虫病发病致死速度快、传播蔓延迅速、防治难度大, 因而被称为松树上的“癌症”。关于该病的发生发展规律及其防治方面人们已做了大量研究<sup>[3]</sup>, 但从群落生态学的角度, 来探讨因松材线虫入侵引发的松林生态系统内各生物群落结构和功能的改变、群落的演替等研究近几年才逐渐引起众多学者的重视, 国内外在此方面的研究仍相当少。笔者拟对此作一综述, 旨在为松材线虫病的生态(自然)控制提供一定的思路。

### 1 松材线虫入侵对松林内生物群落的影响

生物入侵是指某种生物从原来的分布区域扩展到一个新的(通常也是遥远的)地区。在新的区域

收稿日期: 2009-05-09; 修回日期: 2009-10-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB119205)

作者简介: 徐华潮, 副教授, 博士研究生, 从事林业有害生物综合治理研究。E-mail: xhcinsect@zjfc.edu.cn

里, 其后代可以繁殖、扩散并维持下去<sup>[4]</sup>。随着人类活动对自然界影响的日益加剧, 生物入侵改变了原有的生物地理分布和自然生态系统的结构与功能, 对环境产生了很大的影响<sup>[5]</sup>, 已成为全球关注的问题。

### 1.1 松材线虫入侵对植物群落演替及其功能影响

研究表明, 内陆型生境中, 无论是马尾松 *Pinus massoniana* 纯林还是马尾松混交林群落, 被松材线虫危害后, 乔木层植物的种类及植物多样性均有较大程度的增加, 原有森林群落并未向灌丛方向退化, 反而比危害前生物多样性指数有较大的增加<sup>[6]</sup>。由此我们可以看出, 在立地条件较好的地方, 松材线虫危害后, 短期内对松林资源、自然景观和生态环境确实造成了严重的破坏, 但随着较长时间的演替和恢复, 反而在植物种类丰富度、植物多样性方面有所增加, 群落的结构有所改善, 生态系统能够朝更高更稳定的方向演替和发展。研究认为, 即使不是因松材线虫的入侵而引起系统的演替和发展, 那么还可能被其他有害生物的入侵或危害引起整个系统的演替和发展, 这是群落演替的必然结果。关于这一点, 在石娟等<sup>[7-10]</sup>的研究结果中似乎也得到了验证。通过比较受害前后马尾松林内主要种群的生态位宽度、生态位相似比例、生态位重叠等指标值, 结果表明, 由于松材线虫的入侵, 加之随后的人为伐除马尾松受害木, 马尾松林正朝着阔叶林和针阔混交林 2 个方向发展。从系统进化的角度而言, 不论恢复为哪个方向, 松材线虫只是作为一个外来的选择因子, 促使整个生态系统朝向更为稳定的方向发展, 改变原有的松树纯林连片分布的不合理格局, 使整个群落向顶级群落方向演替。结合石娟等因松材线虫入侵对马尾松林植物群落功能影响的研究, 当松材线虫入侵后, 人们采取了伐除受害木和施放引诱剂等一系列保护措施, 尽管当时松林种群生物量及林分出材率都会下降, 但这一措施的实施, 会使林分未受害马尾松林木平均年生长量总体上升, 同时加速了马尾松纯林向阔叶林阶段演替的速度。

### 1.2 松材线虫入侵对节肢动物群落的影响

从物种丰富度角度来说, 节肢动物(主要是昆虫)是森林生态系统中主要的优势类群之一<sup>[11]</sup>。在生态系统中, 节肢动物通过捕食、寄生等行为与其他生物形成极为复杂的食物链关系, 并发挥着极其重要的作用, 如营养循环、分解和授粉等。可以预见, 松材线虫的入侵及随后为防止疫情扩散而采取的伐除病死木等人为干扰因素, 都会对松林内节肢动物的物种组成及种群变异动态产生或多或少的影响。武海卫等<sup>[12]</sup>选取松材线虫病危害过的 4 种代表性的松林类型为对象, 研究了其内节肢动物群落的组成结构特征, 分析了不同林型间节肢动物群落的相似性, 结果表明, 林分的树种组成在决定节肢动物群落的组成上起着主要作用。但该项研究由于受研究地条件限制, 缺乏相关林分类型在受害之前的节肢动物群落组成资料, 故无法比较松材线虫入侵前后各个松林类型节肢动物群落的组成和结构的变化。同时若受松材线虫入侵时间长短不一, 也会影响林内生物群落的组成和结构的差异, 则各林型间群落相似性比较也就失去意义。

通过调查, 在感染松材线虫病的黑松 *Pinus thunbergii* 上共发现 7 种昆虫, 其中钻蛀类害虫 5 种, 天敌 2 种<sup>[13]</sup>; 而在马尾松上共发现 5 种钻蛀性害虫<sup>[14]</sup>, 其中有 4 种与黑松上的一致, 这说明以松材线虫病的传播媒介松墨天牛 *Monoohamus alternatus* 为主的钻蛀性害虫在这 2 种松树之间的选择性基本相似, 从而同时造成了松材线虫病在这 2 种松树上的严重发生。另外, 在染病黑松上还发现有 2 种天敌类群——莱氏猛叩甲 *Tetrigus lewisi* 和郭公甲 *Cleridae* spp., 通过比较发现, 它们与松墨天牛的生态位相似性比例均较高, 达到了 0.7 左右<sup>[13]</sup>, 预示着这 2 种天敌对松墨天牛的控制是否有着较好的应用前景; 另外, 在健康木上是否存在有少量相同的害虫, 以及这些钻蛀性昆虫入侵松树的时序动态规律还有待进一步调查研究。

### 1.3 松材线虫入侵对鸟类群落的影响

外来种的侵入对当地生态系统的健康是一种极大的威胁, 它可以改变生态系统的结构和功能以及植物生产力<sup>[4,15]</sup>, 还能破坏栖息地结构, 杀死优势的树种而引起林下植被的显著增长<sup>[16]</sup>。松材线虫入侵造成了松树的死亡, 导致松林急剧退化, 并在原有林地形成了大量的不同年龄层次的常绿阔叶早期演替林, 这加速了松林向常绿阔叶林转变的进程。而演替过程中植被结构变化又对林内鸟类群落产生

了影响。蒋科毅等<sup>[17]</sup>选取了处于不同演替阶段的 3 种类型(受松材线虫侵袭 5 a 后的常绿阔叶灌丛和受侵 12 a 后的常绿阔叶林, 以及未受侵袭约 40 年生的常绿阔叶林)的栖息地, 对其内鸟类群落组成及结构进行调查。结果显示, 在 2 种常绿阔叶林早期演替林中的鸟类物种多样性和丰富度均显著高于约 40 年生的常绿阔叶林, 这与多位学者的研究报道结果相吻合<sup>[18-20]</sup>, 即鸟类多度和丰富度是随森林演替阶段的推进而增加, 到达演替顶极阶段后鸟类丰富度和多样性出现下降, 但在随后更长时间内又会出现 1 个小的增长峰而后下降。这也说明了早期演替林对鸟类的重要性。

#### 1.4 松材线虫入侵对微生态环境的影响

松材线虫病的致病机制一直是学者们研究和争议的焦点, 相关的报道也有不少。这些研究也牵涉到松材线虫入侵后对林内微生态环境的影响研究, 如对细菌、真菌、线虫和原虫等入侵先后及其相互关系研究。有学者<sup>[21-23]</sup>通过人工接种生测方法, 观察了黑松发病进程中树体内线虫和细菌种群数量的动态变化。来燕学<sup>[24]</sup>则选取 3 类(健康、局部枯萎、濒死)松枝条, 对自然感病的病枝条内的寄生虫和微生物群落进行分离研究, 结果发现在枯萎松枝条内有大量的寄生虫和微生物, 主要是线虫、原虫、真菌和细菌。同时还进一步探析了这些寄生虫和微生物群落入侵枝条的途径和先后顺序, 指出了枝内生物均是通过伤口进入。这些研究一方面为松材线虫致病机制相关假说提供了佐证, 同时揭示了因松材线虫入侵后引发对松树体内微生态环境的变化, 也为该病的防治提供了理论指导。

森林土壤是森林生态系统的一个重要组成部分, 在其发育演变的过程中, 自然因素特别是生物因素起着明显的主导作用; 另一方面林木从种子发芽起一直到成林的整个过程中, 每时每刻都受到土壤因子的制约, 其生长状况又是同土壤因子紧密联系在一起的。因此, 松材线虫入侵后造成松树大面积死亡, 以及为防止疫情扩散而采取人工伐除病死木等措施都会对土壤微生态环境产生影响。研究表明, 当林分受到松材线虫病危害时, 不同的受害程度、不同的人为干扰程度以及不同的更新结果都将对其生态系统产生一定的影响, 尤其是在土壤营养元素方面, 如磷、全氮和有机质等的影响<sup>[25-26]</sup>。

## 2 不同干扰措施对松材线虫入侵松林内物种多样性的影响

干扰是指作用于生态系统的一种自然的或人为外力, 它使生态系统的结构发生改变, 使生态系统动态过程偏离其自然的演变方向和速度, 其效果可能是建设性的——优化结构、增强功能; 也可能是破坏性的——劣化结构, 削弱功能, 这决定于干扰的强度和方式<sup>[27]</sup>。松材线虫侵袭松林是一种自然干扰现象, 而为了防止疫情扩散采取的伐除病死木(疫木)等措施则属人为干扰因素, 这同样也会对松林群落演替及林内物种多样性产生影响。综合石娟等人<sup>[9, 28-32]</sup>的研究结果表明: 松材线虫入侵松林后, 采取人为伐除病死木的干扰措施, 都将影响受损林地次生演替的进程和方向。如果过强或过弱都会造成林内植物多样性一定程度的下降。适度的人为干扰(间伐)对稀疏马尾松林的自然更新及林下植物种类多样性具有一定的维持或促进作用, 对保持马尾松林较高的物种多样性和群落结构与功能的稳定性有益。同时, 采用何种采伐方式以及采取的强度还应视立地条件差异而定, 对立地条件较好的林地, 采伐强度可大一些, 甚至是皆伐; 而对立地条件较差的林地, 也可采取适当伐除受害木和补栽一定数量阔叶树的措施, 促使其更新成混交林, 既能保持群落结构和功能稳定性, 又能提高松林抵御能力。

植物多样性的增大在多数情况下也能导致某些害虫种群数量的下降<sup>[33]</sup>; 研究还表明, 混交林在防虫防病, 提高林地生产力和林木产量, 改善土壤环境, 提高土壤肥力方面有着纯林不可比拟的效果<sup>[34]</sup>。因此, 从预防松材线虫侵袭角度, 我们建议对于未受害且过密及刚受害的马尾松林分, 可进行适度间伐, 使之恢复成的林型保持较高的物种多样性, 从而增加松林系统对松材线虫的抵抗力。

## 3 松材线虫病生态系统水平上研究展望

综上所述, 在松材线虫入侵的生态系统中, 以生态系统作为研究对象的相对还比较少, 主要原因可能是森林生态系统的特殊性, 调查观察的周期性特别长, 野外作业既耗时又耗力。目前, 仅有的研究主要集中在松材线虫入侵后引发的对林内各生物群落演替、群落结构和功能变化方面, 但少有的这些成果也为松材线虫病的生物和生态控制提供了一定的理论依据。尤其是在“森林健康”观念日益深



入人心情况下,如何从营林技术措施及手段上入手,加强抗性树种选育,合理搭配树种,营造适宜林型,增强松林生长势,以抵抗松材线虫侵袭方面提供了一些思路,即使在遭受了松材线虫的入侵早期,我们还可因地制宜地采取一些择伐措施,加速森林向正向演替,尽可能来抵御松材线虫入侵,或将它们消灭在萌芽状态以减少损失。

Poulsen<sup>[35]</sup>认为树种越多,树胸径大小等级越多,森林内部结构就越复杂(垂直结构异质性就越大),鸟类物种数和个体数就越多。结合吴蓉等<sup>[6]</sup>对植物群落的研究结果,我们建议,一旦受松材线虫入侵,人们在采取措施防治应对时,一方面应确立“先核心后外围”的防治策略,同时尽量不要采取皆伐的方法或持放任的态度,而应采取不但有利于恢复林下植被而且会增加树木的年龄层次的办法,如对发病马尾松的定点清除,并采取一些增加树种的措施,从而有利于增加其垂直结构异质性和植物、鸟类物种多样性。对入侵初期的松林,应及时采取适度间伐、投放引诱剂等一些保护措施,不仅能使未受害林分平均生长水平增加,也能使新恢复成的林型保持较高的物种多样性,从而保持群落结构和功能的稳定性,增加松林系统的自然抵抗力。

松材线虫原广泛分布于北美,但在其原产地并不造成严重危害。20世纪初传入日本后,导致日本本地松树严重死亡,尤其是20世纪70年代后,松材线虫病在日本大量爆发流行,日本松林由此遭到毁灭性的破坏。中国于1982年首次发现该病至今,已造成中国松林资源的严重破坏和不良的生态后果,经济损失巨大<sup>[36]</sup>。为什么会出现这种情况?这就牵涉到外来物种入侵机制及本地生态系统抵抗力的问题。因此,松材线虫对松林生态系统入侵机制及其抵抗性的研究将是今后研究的一个重点,我们应在松材线虫入侵后引发植物群落结构与功能变化研究的基础上,进一步揭示松材线虫入侵对特定松林生态系统结构和功能的影响;调查研究不同林型松林生态系统对松材线虫入侵表现出的反响机制及抵御能力,阐明生态系统对生物入侵的抗性与敏感性及其机制,从生态尺度范围内来探讨松材线虫的生物和生态控制。

以受松材线虫不同入侵程度的生态系统为对象,研究生态系统重建、生态修复为主要内容,这将是今后应对松材线虫病危害的另一研究方向。松材线虫病从发病到现在,人们针对它的研究与防治工作也一直没有中断过,但至今未能取得一种理想控制方法或措施。但从现有研究结果来看,人们在应对其危害而采取了被动措施(伐除等)后,一些松林生态系统反而出现了良性演替,并朝着森林健康及系统稳定的方向发展,这无意之中给了我们一种启示,我们暂且将松材线虫视作是松林群落演替的一个偶然外来因子,既已入侵并造成危害,在不能做到防患于未然或控制其蔓延的情况下,我们不妨考虑如何对已遭受危害或退化的系统加以修复。研究的关键包括系统受侵袭后的退化过程,扭转退化的方法,确定重建物种,系统恢复目标及恢复过程中可能遇到的障碍,同时要提出相应的技术、监测过程及评估指标及方法等。

总之,鉴于森林生态系统的结构复杂性和时空稳定性,以及对生物灾害的自我补偿或恢复能力,在研究松材线虫病的防控技术及措施上,一方面要深入探讨松材线虫的入侵机制,同时还应从系统自身抵抗性和恢复性2个方向入手,以期从生态尺度上探求松材线虫病的防控策略。

#### 参考文献:

- [1] MAMIYA Y, KAYOHARA T. Description of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematode: Aphelenchoididae) from pine wood and histopathology of nematode-infected trees [J]. *Nematologica*, 1972, **18**: 120 - 124.
- [2] 杨宝君, 朱克恭, 周元生, 等. 中国松材线虫病的流行与治理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [3] 李兰英, 高岚, 温亚利, 等. 松材线虫病研究进展[J]. 浙江林业科技, 2006, **26** (5): 74 - 80.  
LI Lanying, GAO Lan, WEN Yali, et al. Advances in research on *Bursaphelenchus xylophilus* disease [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2006, **26** (5): 74 - 80.
- [4] MACK R N, SIMBERLOFF D, LONSDALE W M, et al. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control[J]. *Ecol Appl*, 2000, **10**: 689 - 710.
- [5] CURNUTT J L. Host-area specific climatic-matching: similarity breeds exotics[J]. *Biol Conserv*, 2000, **94** (3): 341 - 351.

- [6] 吴蓉, 陈友吾, 陈卓梅, 等. 松材线虫入侵对不同类型松林群落演替的影响[J]. 西南林学院学报, 2005, **25** (2): 40 - 44.  
WU Rong, CHEN Youwu, CHEN Zhuomei, *et al.* Effect of *Bursaphelenchus xylophilus* disease on vegetation succession in different types of pine forest [J]. *J Southwest For Coll*, 2005, **25** (2): 40 - 44.
- [7] 石娟, 骆有庆, 曾凡勇, 等. 松材线虫入侵对马尾松林主要种群生态位的影响[J]. 北京林业大学学报, 2005, **27** (6): 80 - 86.  
SHI Juan, LUO Youqing, ZENG Fanyong, *et al.* Impact of invasion of pine wood nematode on the niche of main populations in masson pine community [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (6): 80 - 86.
- [8] 石娟, 骆有庆, 武海卫, 等. 松材线虫入侵对马尾松林植物群落功能的影响[J]. 北京林业大学学报, 2007, **29** (5): 114 - 120.  
SHI Juan, LUO Youqing, WU Haiwei, *et al.* Impact of *Bursaphelenchus xylophilus*'s invasion on the function of plant community in masson pine forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2007, **29** (5): 114 - 120.
- [9] 石娟, 骆有庆, 严晓素, 等. 不同干扰措施对松材线虫入侵松林内物种多样性的影响[J]. 生态科学, 2007, **26** (4): 289 - 292.  
SHI Juan, LUO Youqing, YAN Xiaosu, *et al.* Effects of different disturbance ways on the diversity of pine forest invaded by pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) [J]. *Ecol Sci*, 2007, **26** (4): 289 - 292.
- [10] 石娟, 骆有庆, 武海卫, 等. 松材线虫入侵对马尾松林分生长的影响及相关生长模型[J]. 生态学报, 2008, **28** (7): 3194 - 3204.  
SHI Juan, LUO Youqing, WU Haiwei, *et al.* Impact on forest growth and related growth models of the *Pinus massoniana* population invaded by *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (7): 3194 - 3204.
- [11] CHRISTINE V. *Canopy and Understorey Insect Communities of Sugar Maple and White Pine Forests of the South-eentra Great Lakes-St. Lawrence Regine* [D]. Toronto: University of Toronto. Faculty of Forestry. 2003.
- [12] 武海卫, 骆有庆, 石娟, 等. 不同松林类型节肢动物群落组成和相似性[J]. 昆虫知识, 2008, **45** (4): 615 - 620.  
WU Haiwei, LUO Youqing, SHI Juan, *et al.* Composition and similarities of arthropod community in different pine forest types [J]. *Chin Bull Entomol*, 2008, **45** (4): 615 - 620.
- [13] 严晓素, 武海卫, 李天君, 等. 松材线虫染病黑松上钻蛀性昆虫生态位的研究[J]. 中国森林病虫, 2007, **26** (5): 8 - 11.  
YAN Xiaosu, WU Haiwei, LI Tiaijun, *et al.* Niches of borers in *Pinus thunbergii* infected by *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *For Pest Dis*, 2007, **26** (5): 8 - 11.
- [14] 宋冀营, 骆有庆, 石娟, 等. 松材线虫染病松树上钻蛀性昆虫生态位的研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, **27** (6): 108 - 111.  
SONG Jiyong, LUO Youqing, SHI Juan, *et al.* Niche characteristics of boring insects within *Pinus massoniana* infected by *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (6): 108 - 111.
- [15] DRAKE J A, MOONEY H A, DI CASTRI F, *et al.* *Biological Invasions: A Global Perspective* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [16] BELL J L. *Effects of Gypsy Moth Defoliation on Forest Vegetation and a Forest Bird Community* [D]. West Virginia: Dissertation of West Virginia University. 1997.
- [17] 蒋科毅, 于明坚, 丁平, 等. 松材线虫侵袭引发的植被演替对鸟类群落的影响[J]. 生物多样性, 2005, **13** (6): 496 - 506.  
JIANG Keyi, YU Mingjian, DING Ping, *et al.* Avian community response to vegetation succession caused by the pine wood nematode in Zhejiang, China [J]. *Chin Biodivers*, 2005, **13** (6): 496 - 506.
- [18] SHUGART H J, JAMES D. Ecological succession of breeding bird populations in northwestern Arkansas [J]. *Auk*, 1973, **90**: 62 - 77.
- [19] MEYERS J M, ODUM E P. Breeding bird populations of the Okefenokee Swamp in Georgia: baseline for assessing future avifaunal changes [J]. *J Field Ornithol*, 1991, **62**: 53 - 68.
- [20] KELLER J K, RICHMOND M E, SMITH C R. An explanation of patterns of breeding bird species richness and density following clearcutting in northeastern USA forests [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **174**: 541 - 564.
- [21] 谢立群, 赵博光, 巨云为, 等. 松材线虫携带细菌的光镜观察与数量测定[J]. 浙江林学院学报, 2002, **19** (4): 346 - 349.

- XIE Liqun, ZHAO Boguang, JU Yunwei, *et al.* Observation on the bacteria carried by pine wood nematode through optical microscope and its number measurement [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2002, **19** (4): 346 – 349.
- [22] 谢立群, 巨云为, 赵博光. 松材线虫病中树体内线虫和细菌种群数量的动态变化[J]. 林业科学, 2004, **40** (4): 124 – 129.
- XIE Liqun, JU Yunwei, ZHAO Boguang. Dynamics of populations of nematode and bacteria in the process of pine wilt disease [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (4): 124 – 129.
- [23] 谢立群, 巨云为, 杨振德, 等. 接种松材线虫后黑松接种枝内细菌和线虫的数量变化[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (3): 310 – 314.
- XIE Liqun, JU Yunwei, YANG Zhende, *et al.* Dynamics of densities of bacteria and nematode in the branches of *Pinus thunbergii* inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (3): 310 – 314.
- [24] 来燕学. 松树枯萎病枝条内的寄生虫和微生物群落[J]. 南京农业大学学报, 2006, **29** (1): 49 – 53.
- LAI Yanxue. Detecting of parasites and microbes in the pine dying twigs [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2006, **29** (1): 49 – 53.
- [25] 黎镇湘, 安树杰, 张晓丽, 等. 松材线虫入侵林地土壤因子相关性分析[J]. 土壤通报, 2005, **36** (6): 938 – 942.
- LI Zhenxiang, AN Shujie, ZHANG Xiaoli, *et al.* Principal component analyses of soil in a forest ecological system invaded by *Bursaphelenchus xylophilus* disease [J]. *Chin J Soil Sci*, 2005, **36** (6): 938 – 942.
- [26] 李春艳, 张晓丽, 安树杰, 等. 松材线虫入侵后马尾松根际土壤性质相关分析[J]. 水土保持研究, 2007, **14** (3): 89 – 91.
- LI Chunyan, ZHANG Xiaoli, AN Shujie, *et al.* Relevant analysis of soil characters in forest land invaded by *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2007, **14** (3): 89 – 91.
- [27] 周晓峰. 中国森林与生态环境[M]. 北京: 中国林业出版社. 1999.
- [28] 于福华. 松材线虫病的防治与营林措施的高榷[J]. 安徽林业科技, 2002 (3): 14 – 15.
- YU Fuhua. A discussion on control of *Bursaphelenchus xylophilus* and silvicultural measure [J]. *J Anhui For Sci Technol*, 2002 (3): 14 – 15.
- [29] 石娟, 骆有庆, 宋冀营, 等. 松材线虫入侵后不同伐倒干扰强度对马尾松林植物多样性的影响[J]. 应用生态学报[J], 2006, **17** (7): 1157 – 1163.
- SHI Juan, LUO Youqing, SONG Jiying, *et al.* Effects of different removal disturbance intensity on plant diversity of *Bursaphelenchus xylophilus*-invaded masson pine community [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (7): 1157 – 1163.
- [30] 黄照岗, 储德喜, 黄其敏, 等. 谈松林改造对松材线虫病的预防作用[J]. 中国森林病虫, 2003, **22** (5): 32 – 34.
- HUANG Zhaogang, ZHU Dexi, HUANG Qimin, *et al.* Preventive effect of pine forest transformation on *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. *For Pest Dis*, 2003, **22** (5): 32 – 34.
- [31] 吕文艳, 王柏泉, 曾德山, 等. 松材线虫病疫木不同伐除方式对森林植物群落演替的影响[J]. 湖北林业科技, 2008, **15** (1): 4 – 8.
- LÜ Wenyan, WANG Boquan, ZENG Deshan, *et al.* Effects of *Bursaphelenchus xylophilus* disease on plant community succession in different harvesting methods of infected pinus forest [J]. *J Hubei For Sci Technol*, 2008, **15** (1): 4 – 8.
- [32] 曾德山, 王柏泉, 吕文艳, 等. 不同立地条件下松材线虫病疫木伐除方式的探讨[J]. 安徽农业科学, 2008, **36** (19): 8095 – 8097.
- ZENG Deshan, WANG Boquan, LÜ Wenyan, *et al.* Discussion on removal way of pine wood with thelaziasis under different site conditions [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, **36** (19): 8095 – 8097.
- [33] 侯茂林, 盛承发. 农业生态系统中植物多样性对害虫种群的影响[J]. 应用生态学报, 1999, **10** (2): 245 – 250.
- HOU Maolin, SHENG Chengfa. Effects of plant diversity on pest population in agricultural ecosystem [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **10** (2): 245 – 250.
- [34] 李金英, 曾祥划, 吴刚, 等. 马尾松纯林的更新改造[J]. 热带林业, 2004, **32** (3): 39 – 40, 47.
- LI Jinying, ZENG Xianghua, WU Gang, *et al.* Regeneration and transformation in masson pine forests [J]. *Trop For*, 2004, **32** (3): 39 – 40, 47.
- [35] POULSEN B O. Avian richness and abundance in temperate Danish forests: tree variables important to birds and their conservation [J]. *Biodiversity Conserv*, 2002, **11**: 1551 – 1566.
- [36] 杨宝君, 汤坚, 王玉嫫, 等. 松材线虫病[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.