

安徽省抗松材线虫病马尾松育种研究进展

郝焰平，徐六一，章健，陈雪莲，姜春武

(安徽省林业科学研究院，合肥 230031)

摘要：通过查阅相关文献，分别从研究背景、研究概况、研究现状、总结及展望四个方面对抗松材线虫病马尾松育种做了简要叙述。松材线虫病传播蔓延迅速，防治难度极大，从我国1982年在南京首次发现该病至今的30年，疫区范围便扩大到江苏、浙江、安徽等14省区市，并对庐山、黄山和三峡库区等生态安全构造严重威胁。安徽省的疫情现已涉及滁州、马鞍山等6市14县(市、区)，造成了极大的生态破坏和经济损失，鉴于此，安徽省自2001年开始率先在全国开展了马尾松松材线虫病抗性育种研究。积极开展松材线虫病马尾松抗性育种研究，已成为防御松材线虫病危害的重要途径。松属不同树种对松材线虫的抗性存在的差异已被认可，另外还表现出种内抗性变异。黄山松对松材线虫的抗性非常差，与黑松一样弱。与其它松种比较，马尾松的抗病能力是较强的。不同龄级的马尾松、马尾松地理种源的抗病能力是有差异的，自然界中家系或个体之间存在抗性差异，从而为抗性育种的选拔和测定奠定了可能性，也为材料的选择提供了范围。在马尾松松材线虫抗性育种的研究过程中，选定人工接种用的松材线虫是非常重要的。松材线虫分离种群间的致病力有着强弱的差异，其繁殖速度和繁殖力也不一样。选用致病力最强、繁殖力较强的松材线虫分离种群作为接种用松材线虫的接种虫源。接种线虫后能存活下来的苗木具有一定的抗性，对已选拔出的具有抗性的马尾松家系候选单株进行有效保存，并在现有的条件下加以利用，在省内一些马尾松母树上采种、播种、育苗、接种，期间共选拔抗性苗木家系251个。接种测定环境适在野外，在野外接种环境下，火炬松抗性能力最强，确定无性系抗性能力对照树种应为火炬松。各松树在不同接种环境下的感病率在接种第9周后均达到最大值，在此时间内进行调查并分析植株的抗病能力较佳，抗性候选无性系间抗性差异极显著，抗性候选家系的平均健全率78.2%，抗性无性系的平均健全率76%，对照使用的马尾松健全率29.7%、火炬松健全率52.4%，显示马尾松抗性无性系的抗性水平高于火炬松0.45倍、普通对照马尾松的1.63倍。通过抗病性测定能够选拔出高抗性的马尾松抗性无性系。安徽省对马尾松251个家系1201株抗性候选单株通过嫁接方法进行了无性繁育，培育嫁接苗木13361株，采集了137个马尾松抗性候选家系的181株单株种子，培育出抗性马尾松候选家系子代苗木3000多株，在全椒县瓦山林场松材线虫病危害区营建了56个马尾松抗性候选家系的子代测定林。根据全国马尾松种源试验安徽省试验结果，瓦山林场马尾松种源加密实生种子园中采集了18个种源72个家系的种子，培育苗木

3000株。利用筛选出的马尾松高抗无性系在瓦山林场松材线虫病危害区营建了143个家系的286个马尾松无性系的现地测定林，现地测定林各家系、无性系在疫区的表现特征作为后期评价抗性家系的指标之一。又在全椒县瓦山林场营建了马尾松抗性无性系保存圃，收集了93个家系的117个抗性无性系。

关键词：马尾松；松材线虫；育种；抗病性

Resistance to *Bursaphelenchus xylophilus* disease of *Pinus massoniana* in Anhui Province breeding research progress

HAO Yan-ping,XU Liu-yi,ZHANG jiang

CHENG Xue-lian,JIANG Chun-wu

(Anhui Academy of Forestry,Hefei 230031)

Abstract:Through consulting relevant literature, separately from the research background, research situation, research status, summarizes and prospects in four aspects against *Bursaphelenchus xylophilus* *Pinus massoniana* breeding were introduced in brief.*Bursaphelenchus xylophilus* disease spread rapidly, control difficulty is great, from our country the disease was first identified in 1982 in Nanjing since 30 years, epidemic area was expanded to Jiangsu, Zhejiang, Anhui and other 14 provinces and cities, and the Mount Lu, Mount Huangshan and the Three Gorges Reservoir area and other serious threat ecological security construction.Anhui provincial epidemic is now involved in Chuzhou, Ma'anshan City 14 county 6 (city, area), caused a great ecological damage and economic loss, in view of this, Anhui province since the beginning of 2001 the first in the country to carry out the Masson *Bursaphelenchus xylophilus* disease resistance breeding.Actively carry out of *Bursaphelenchus xylophilus* disease resistance breeding of *Pinus massoniana*, became defensive *Bursaphelenchus xylophilus* harm important way.Pine to *Bursaphelenchus xylophilus* resistance of different tree species differences have been recognized, in addition to exhibit intraspecific variation of resistance.Mount Huangshan pine to *Bursaphelenchus xylophilus* resistance is very poor, and lodgepole pine as weak.A comparison with other pine, *Pinus massoniana* disease-resistant ability is strong.Different age class of geographical provenance of *Pinus massoniana* *Pinus massoniana*, the disease-resistant ability is different in nature, the family or the individual differences exist between the resistance, thereby providing resistance breeding selection and determination of established possibility, also for

materials selection provides the scope. In masson *Bursaphelenchus xylophilus* resistance breeding in the course of the study, selected by the artificial inoculation of *Bursaphelenchus xylophilus* is very important. *Bursaphelenchus xylophilus* isolation between populations of pathogenicity have strength differences, their reproductive rate and fecundity are not the same. Strongest pathogenicity fecundity selection, strong *Bursaphelenchus xylophilus* isolated populations as inoculation with *Bursaphelenchus xylophilus* inoculation of insect. After inoculation of nematodes survived seedlings possess a certain resistance, on the selection of the candidate resistance of *Pinus massoniana* single strain for efficient storage, and the existing conditions to use, in the province of *Pinus massoniana* seed, some trees on the sowing, seedling, vaccination, total resistance during seedling selection of family 251 a. Determination of optimal vaccination in the field, in the inoculation outdoor environment, loblolly pine resistance capacity of the strongest, determine the clonal resistance ability of tree species for Loblolly pine. The pine at different inoculation environment disease infection rate in ninth weeks after inoculation reaches a maximum value, this time for investigation and analysis of plant disease resistance is good, resistant candidate clones had extremely significant difference between resistance, resistance candidate family average sound rate 78.2%, resistant clones of the average sound rate 76%, control using masson pine, loblolly pine sound 29.7% sound rate was 52.4%, *Pinus massoniana* clones showed resistance resistance levels higher than 0.45 times the normal control of loblolly pine, Masson Pine 1.63 times. Through resistance to select high resistance resistant clones of *Pinus massoniana*. Anhui Province on the pine 251 pedigrees of 1201 resistant candidate plant through grafting methods of asexual reproduction, cultivation of grafted seedlings 13361, collecting 137 pine resistance candidate pedigrees of 181 strains of plant seed, breed resistance of *Pinus massoniana* candidate family progeny seedlings more than 3000 lines, in the county of Quanjiao tile field of mountain forest of *Bursaphelenchus xylophilus* hazard zone construction 56 pine resistance candidate family progeny test plantation. According to the Anhui province of *Pinus massoniana* provenances test results, tile hill forest of *Pinus massoniana* provenances encryption seedling seed orchard were collected from 18 provenances of 72 pedigrees of seeds, nurture seedlings 3000. By using selected clones of *Pinus massoniana* high resistance in tile hill forest *Bursaphelenchus xylophilus* harms District building 143 pedigrees of 286 *Pinus massoniana* clones in-situ measured in-situ determination of Lin Lin, families, clones in epidemic area features as late evaluation of index of

resistance. Also in Quanjiao County watt mountain forest construction of *Pinus massoniana* resistant clone saves garden, a collection of 93 pedigrees of 117 resistant clones.

Key words: *Pinus massoniana*; *Bursaphelenchus xylophilus*; resistance breeding; disease resistance

1、研究背景

松材线虫病，又称松树萎蔫病，其病原为嗜木伞真滑刃线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)，俗称松材线虫，能导致松树在感染后60~90d内枯死，而且传播蔓延迅速，防治难度极大，3~5a就造成大面积毁林的恶性灾害，所以又被称为松树癌症，无烟的森林火灾。我国于1982年在南京首次发现该病^[1]，仅短短的20多年，疫区范围扩大到江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、湖北、湖南、广东、广西、四川、重庆、贵州、云南等14省区市，累计致死松树5亿多株，毁灭松林30多万hm²，造成经济损失上千亿元^[2]。并对庐山、黄山和三峡库区等生态安全构造严重威胁^[3]。松材线虫在世界各地的分布包括美国、加拿大、墨西哥、中国、韩国和日本以及希腊、葡萄牙、尼日利亚等多个国家。在前三个国家松材线虫并未对松林造成严重危害，而在中日韩则引起松树大量死亡，严重影响当地的生态安全，也使松木板材及观赏松木的市场受到严重冲击，已成为影响世界经济贸易的重要因素之一，因此受到各国的重视，相继被列为重要检疫对象。由于松材线虫在经济和生态上意义重大，我国政府十分重视，特别是近几年来加强了松材线虫病的预防和除治工作，总体上扭转了该病发生持续攀升的势头。近10年来松材线虫病的研究有不少进展，不过大多数侧重于其检测方面，而在防治方面则进展不大。由于我国松林分布广、面积大，自然条件非常适合松材线虫繁衍，松材线虫病防治的形势仍然严峻^[4]。

安徽省于1988年首次发现松材线虫病，疫情现已涉及滁州、马鞍山等6市14县(市、区)，病害导致大量马尾松(*Pinus massoniana*)枯死，造成了极大的生态破坏和经济损失。松材线虫病由于其发病因素和传播扩散途径复杂、危害严重、防治困难，目前对该病害的防治主要是严格检疫、清除枯死木和用天敌、化学农药防治该病的主要传播媒介松褐天牛，对病害的控制都没有取得根本性的进展^[5]。林木抗性选育已成为林木病虫害防治的长远对策，受到许多国家重视。日本自1978年开始抗松材线虫病松树的育种研究工作，20世纪90年代初建立了抗松材线虫病日本赤松(*Pinus densifolra*) 和日本黑松(*Pinus thunbergii*) 采种园，并培育了大量抗性苗进行人工造林^[6]。马尾松是我国松属中分布最广、数量最多的主要用材树种，是

南方山地造林的先锋树种，也是国土安全和生态建设的主要树种。安徽省自2001年开始率先在全国开展了马尾松松材线虫病抗性育种，至2008年已选育出251个家系、1201株抗性候选单株^[7]。开展松材线虫病马尾松抗性育种研究，选育出抗性品种，已成为防御松材线虫病危害的重要途径。

2、国内外研究概述

松树抗性育种的材料选择来源很多。Hoff 等阐述了华山松在德国表现抗病，在美国则表现中等抗病，但也有些共有的规律，即欧洲和亚洲原产五针松的大多数都较北美产树种抗疱锈病[8-9]。Tainter、叶建仁、Ades等分别对松树梭锈病、松针褐斑病、抗针叶枯萎病等病害进行了抗性研究[10-12]。松属不同树种之间存在着相当明显的抗松材线虫的差异。对各种树种的接种鉴定表明，日本黑松、日本赤松、琉球松属高感病性的树种，而火炬松(*Pine taeda*)、美国五针松(*P. strobes*)、黄松(*P. thunbergii* × *P. massoniana*)等的抗性较强。在北美大陆，东西海岸松树树种对松材线虫的抗性存在着显著差异，原产于美国西海岸到墨西哥的松树树种抗性较弱，如加州沼松(*P. muricata*)、辐射松(*P. radiata*)、西黄松(*P. ponderosa*)、光叶松、米却肯松(*P. michoacana*)、卵果松(*P. oocarpa*)、拟北美乔松(*P. pseudostrobus*)等。原产美国东海岸的松属树种都显示出较强的抗性，如火炬松、湿地松(*P. elliotii*)、北美短叶松(*P. banksiana*)、美国五针松、辛松(*P. pungens*)、美国沙松(*P. clausa*)等。在东南亚地区原产的松属树种中，黄山松(*P. hwangshanensis*)、中国台湾五针松(*P. morrisonicola*)、葵花松(*P. fenzeliana*)属于抗性较强的树种，日本赤松、黑松、红松(*P. koraiensis*)、琉球松(*P. luchuensis*)、思茅松(*P. khasya*)为感病性树种，马尾松(*P. massoniana*)和油松(*P. tabulaeformis*)属于具有中等抗性的树种，而白皮松(*P. bungeana*)和华山松(*P. armandi*)属中等感病性的树种。欧洲大陆的欧洲赤松(*P. sylvestris*)、欧洲黑松(*P. nigra*)和意大利伞松(*P. pinea*)等也是松材线虫的感病性树种[13]。松属不同树种对松材线虫的抗性存在的差异已被认可，另外还表现出种内抗性变异。人工接种试验表明，火炬松不同家系的存活率变动幅度为39%~67%，日本赤松家系的存活率变动幅度为7%~38%，黑松家系的存活率变动幅度为0~22%。

根据安徽省中日合作松材线虫抗性育种中心的研究表明，黄山松对松材线虫的抗性非常差，与黑松一样弱[14-15]。1983~1988年，日本开始从中国引进马尾松花粉，进行黑松和马尾松的杂交育种工作。黑松和马尾松的杂交家系，一般统称为和华松。1987、1988、1989年3次对黑松与赤松杂交家系的抗性无性系进行接种试验，结果确认其具有较强的抗性。结果表明，抗性赤松与非抗性赤松的杂交组合接种苗木成活率在25%~95%，而抗性赤松×抗性赤松的杂交组合接种苗木成活率高达80%~100%[16]

徐福元、汪企明等通过为期9年对全国马尾松种源和南京地区马尾松对松材线虫病的抗性监测和筛选比较发现,与其它松种比较,马尾松的抗病能力是较强的。不同龄级的马尾松、马尾松地理种源的抗病能力是有差异的。不同龄级的南京地区马尾松3~15年生为抗性期,1~2年生幼苗的抗病能力较差,16年生以后随树龄的增加抗病能力减弱;马尾松地理种源12年生以后的抗性出现较大差异,并表现为有的种源高抗性,有的种源为敏感性和中等抗性。这与有关文献[17~18]报道结果一致。因此说明其广泛分布的马尾松地理种源比南京地区马尾松的抗病能力有更大的差异,并且差异的出现明显早于南京地区的马尾松。本研究认为马尾松种源在幼年期(15年生以内)抗性强,以后因地理种源的不同会有不同程度的差异和减弱[19]。尽管在不同的试验条件和树龄下,各松树品种之间的抗性顺序不尽相同,如马尾松与湿地松抗性能力就有着不同的结果,但各种试验的表明松树之间存在着抗性差异[20-21]。自然界中家系或个体之间存在抗性差异,从而为抗性育种的选拔和测定奠定了可能性,也为材料的选择提供了范围。

3、安徽省研究现状

(1) 接种用松材线虫分离种群的筛选

在马尾松松材线虫抗性育种的研究过程中,选定人工接种用的松材线虫是非常重要的。松材线虫分离种群间的致病力有着强弱的差异,其繁殖速度和繁殖力也不一样。

2001年在安徽省广德县、和县、滁州市的11个林分中,选取由松材线虫致死的当年枯死树,共计19株,分别在树杆或粗枝上取30cm左右的木段,用于松材线虫取样。在木段中选取5cm的木块,用自来水洗净→99.9%酒精液冲淋1遍→灭菌水洗3次→切碎→贝曼漏斗法收集,用螺口指形瓶分别装入收集到的松材线虫,一个样品中收集到的松材线虫群体称为一个分离种群。在25℃条件下,成功培养16个分离种群。在2a生黑松苗上进行接种,测定松材线虫的致病力。55d后在野外试验区的感病率为26.1%~97.6%,大棚试验区的感病率为84.4%~100%,野外与大棚内的加权平均感病率差20%以上,显示出松材线虫致病力由气温增高和土壤干燥而增强。分别对16个分离种群以相同的接种头数在PDA培养,其繁殖面积的快慢不同;以大量繁殖为目的,在同量的小麦培养基中以相同的接种量,各自的繁殖量也不同,每培养皿的繁殖量为98万~176万头。根据试验结果,选用致病力最强、繁殖力较强的松材线虫分离种群作为接种用松材线虫的接种虫源[22]。

(2) 马尾松抗松材线虫病候选单株的选拔及评价研究

从2001年开始,在安徽省内松材线虫病疫区的残存木上采种育苗,并连续两年在苗木上

接种松材线虫, 经过选择, 初步确定接种线虫后能存活下来的苗木就具有一定的抗性。之后, 又在省内其他地区及非疫区采种育苗, 并接种松材线虫进行选择。对已选拔出的具有抗性的马尾松家系候选木进行有效保存, 并在现有的条件下加以利用。在省内10个县(市、区)的一些马尾松母树上采种, 播种育苗后第二年对苗木第一次线虫接种, 第三年对保存的苗木又进行第二次线虫接种。期间共选拔抗性苗木家系251个。

第一次接种检定的318个家系、约55000株苗木, 实际接种苗木44400株。接种后10d, 观察到感病苗木的顶芽开始萎蔫; 接种后15~20 d, 感病苗木的针叶成伞状, 且颜色由绿变褐, 呈现出松材线虫病典型的症状; 接种后20d, 枯损率和生存率差异显著, 马尾松枯死率为63%, 其他3个树种的枯死率在60%~75%。2003年第一次接种后, 马尾松、火炬松、黄山松3个树种的存活率各不相同, 被认为是抗性树种的火炬松、马尾松在接种30d后枯死趋缓。而被认为是易感病树种的黄山松, 在接种30d后几乎全部枯死。二次检定在2004年接种86个家系、约4200株苗木, 2005年接种212个家系、3816株苗木, 在一次检定中有20个家系因合格苗全部死亡而被淘汰。二次检定的平均生存率2004年为57.0%, 2005年为92.6%, 检定年度不同, 差异很大, 也反映在大棚与野外的不同检定环境的结果中。2004年在大棚检定过程中, 日温度有超过50℃的记录。土壤水分干燥, 对检定苗木有损伤, 导致枯死率提高, 另一方面, 2005年天气多雨、低温, 导致枯死率不高[23]。

(3) 马尾松抗松材线虫病无性系的抗病性评价方法研究

通过人工比较接种松材线虫实验, 研究马尾松抗性候选无性系的抗病性测定评价方法。研究表明: 大棚内接种能够加速病害的发生, 同时高温和干燥条件下, 松树树种间反应不一样, 不能真实体现出各松树种间的抗性能力, 接种测定环境适在野外。在野外接种环境下, 火炬松抗性能力最强, 确定无性系抗性能力对照树种应为火炬松。各松树在不同接种环境下的感病率在接种第9周后均达到最大值, 在此时间内进行调查并分析植株的抗病能力较佳。抗性候选无性系间抗性差异极显著, 抗性候选家系的平均健全率78.2%, 抗性无性系的平均健全率76%, 对照使用的马尾松健全率29.7%、火炬松健全率52.4%, 显示马尾松抗性无性系的抗性水平高于火炬松0.45倍、普通对照马尾松的1.63倍。试验中出现马尾松抗性候选无性系的健全率高于火炬松, 说明通过抗病性测定能够选拔出高抗性的马尾松抗性无性系; 与普通对照马尾松抗性能力相比, 选拔出抗性水平超过其40%~60%以上抗性能力的无性系是可能实现的[24]。

(4) 马尾松抗松材线虫病候选无性系的抗病性测定

截至2012年春季, 安徽省对马尾松251个家系1201株抗性候选单株通过嫁接方法进行了

无性繁育，培育嫁接苗木13361株。通过连续两年人工接种松材线虫测定，从135个家系476个无性系中初选出健全率超过火炬松的抗松材线虫病马尾松家系111个、合格无性系212个，平均健全率为93.4%，对照树种火炬松健全率为82.1%[25]。

(5) 马尾松抗性候选家系子代测定及不同地理种源不同家系抗松材线虫病评价研究

2010年秋季，安徽省采集了137个马尾松抗性候选家系的181株单株种子；2011年培育出抗性马尾松候选家系子代苗木3000多株，2012年春季在全椒县瓦山林场松材线虫病危害区营建了56个马尾松抗性候选家系的子代测定林，用于开展抗性马尾松候选子代人工接种松材线虫测定，测定结果及子代测定林在疫区的表现特征作为后期评价抗性家系的指标[26]。

根据全国马尾松种源试验安徽省试验结果，在安徽省全椒县瓦山林场马尾松种源加密实生种子园中采集了18个种源72个家系的种子，培育苗木3000株，用以开展人工接种松材线虫测定。试验结果作为评价安徽省适生马尾松种源抗病性的依据。

(6) 高抗马尾松无性系现地测定林、采穗圃、采种园营建技术的研究

2011-2012年春季利用筛选出的马尾松高抗无性系在瓦山林场松材线虫病危害区营建了143个家系的286个马尾松无性系的现地测定林，现地测定林各家系、无性系在疫区的表现特征作为后期评价抗性家系的指标之一。又在全椒县瓦山林场营建了马尾松抗性无性系保存圃，收集了93个家系的117个无性系。保存圃主要作为嫁接、扦插、组织培养等无性繁育采取穗条、初生芽的来源，为后期研究成果中试、推广提供保障。

2011年春季，利用筛选出的抗松材线虫病马尾松无性系营建种子园。其中利用34个家系的48个无性系，在全椒县瓦山林场营建马尾松松材线虫病抗性无性系种子园；利用68个家系的89个无性系，在安徽省林业科学研究院沙河林木繁育中心营建马尾松松材线虫病抗性无性系种子园。营建抗松材线虫病马尾松无性系种子园作为松材线虫病马尾松抗性育种研究的重要内容，在我国还属首例，对营建抗性无性系种子园的技术路线的可行性、建园材料选择的可靠性以及关键技术环节进行了研究[27]。

4、总结及展望

(1) 项目选择出的抗性马尾松家系、无性系及抗性种源具有广阔的应用前景。在松材线虫病危害地选择具有抗松材线虫病的马尾松材料进行造林，逐步替代易感病的松树，对于提升森林质量，提高林分的抗逆性具有重要的科技支撑作用。

(2) 加强抗性机理研究。包括从遗传、生理生化层面研究与抗性机理的关系以及马尾松家系、种源、松种对松材线虫、松褐天牛补充营养的抗性及其抗性机理的评价。

(3) 深入开展抗性马尾松组培繁殖技术研究。抗松材线虫病优良马尾松苗是我国林业健

康发展及生态安全所迫切需要,开展抗性马尾松组培繁殖技术研究,为常规育种所获得的抗病优良基因型的快速繁殖提供了技术上的保障,其推广和应用将会产生较大的经济和生态效益。

参考文献:

- [1] 程瑚瑞. 南京黑松上发生的萎蔫病[J]. 森林病虫害通讯,1983, 4:1-5.
- [2] 杨宝君, 王秋丽. 松材线虫在我国的分布[J]. 林业科学研究,1988(4): 450-452.
- [3] 国家林业局. 国家林业局公告(2009年第3号) [EB] .[2009-06-18] . <http://www.forestry.gov.cn/portal/dhzz/s/1259/content-209558.html>.
- [4] 秦复牛, 潘沧桑. 松材线虫病研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2003, 30(4): 370-376.
- [5] 王明旭, 罗宽. 人工接种后次代抗松材线虫松树的抗病性[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(2): 159-161.
- [6] 戸田忠雄, 藤本吉幸, 西村慶二, ら.九州地区におけるマツノサイセンチュウ抵抗性個体の選定[J]. 林育研究, 1989, 7: 145-178.
- [7] 蔡卫兵. 中日合作安徽松材线虫抗性育种项目取得成果[J] . 安徽林业, 2012(5):11.
- [8] 马常耕. 国际林木抗病育种的基本经验[J]. 世界林业研究, 1995(4): 13-20.
- [9] HOFF R J, MCDONALD G I.Variation of virulence of white pine blister rust [J] .Eur J For Pathol, 1993, 23: 103-109.
- [10] TAINTER F H, ANDERSON R L.Twenty six new pine hosts of fusiform rust [J] .Plant Disease, 1993, 77: 17- 20.
- [11] 叶建仁. 抗松针褐斑病湿地选育和抗病机制研究[D]. 南京: 南京林业大学, 1992.
- [12] ADES P K, SIMPSON J A. Select ion for resistance to Dothistroma [Septospora (dong) Morelet] needle blight in pinus radiat [J] .New For, 1990, 4: 27-35.
- [13] 日本全国病虫害防治协会. 松食害虫(松材线虫病)—变迁与最近的研究[M]. 文株出版社, 1997: 168- 274.
- [14] 高景斌, 徐六一, 戸田忠雄. 安徽省开展松材线虫抗性育种研究概述[J]. 林木育种, 2004(1): 2-3.
- [15] 蔡卫兵, 席启俊, 戸田忠雄. 安徽省松材线虫病危害与开始抗性育种[J]. 森林防疫, 2003, 152(3): 4- 10.
- [16] 王斐, 申荷丽. 日本的松材线虫育种研究[J]. 世界林业研究, 2004,17(6) :44-46.
- [17] 杨宝君, 胡凯基, 王秋丽, 等. 松树对松材线虫抗性的研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(3) : 249~255
- [18] 杨宝君, 王秋丽, 邹卫东, 等. 不同抗树对松材线虫的抗性[J]. 植物病理学报, 1987, 17(4) : 211~214
- [19] 徐福元,葛明红, 汪企明, 等. 马尾松种源对松材线虫病的抗性[J]. 南京林业大学学报, 1998, 22(2) : 29-33.
- [20] 徐福元, 席客, 徐刚, 等. 不同龄级马尾松对松材线虫病抗性的探索[J]. 南京林业大学学报, 1994, 18(3) : 27-33.
- [21] 汪企明, 徐福元, 葛明宏, 等. 13年生马尾松39个种源对松材线虫抗性变异初步研究[J]. 浙江林学院学报, 1997, 14(1): 29-34.
- [22] 高景斌, 徐六一, 蔡卫兵, 等. 接种用松材线虫分离种群的筛选[J]. 林业科技开发, 2005, 16(1) : 24-27.
- [23] 徐六一, 戸田忠雄. 马尾松松材线虫抗性候补木的选拔及评价研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(17) : 4303-4304.
- [24] 徐六一, 高景斌, 章健, 等. 马尾松抗松材线虫病无性系的抗病性评价方法研究[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(6) :848-853.

- [25]徐六一, 章健, 郝焰平, 等. 马尾松抗松材线虫病候选无性系的抗病性测定[J]. 林业科技开发, 2012, 26(4): 27-30.
- [26] 徐六一, 徐福元. 《抗松材线虫病马尾松种源及育种技术研究》中期评估材料汇编.北京:国家林业局科学技术司, 2012.
- [27] 章健, 徐六一, 郝焰平, 等. 抗松材线虫病马尾松无性系种子园营建技术[J]. 林业科技开发, 2012, 26(1): 34-37.