

松材线虫病入侵对紫金山马尾松林植物群落演替的影响

孙立峰¹, 解春霞², 居峰^{3*}, 奚月明¹, 朱军³, 董丽娜³, 郑华英², 陈希³, 刘云鹏²

(1. 南京市林业站, 江苏南京 210036; 2. 江苏省林业科学院, 江苏南京 211153; 3. 中山陵园管理局, 江苏南京 210014)

摘要 [目的]探索松材线虫病入侵30余年紫金山马尾松林植物群落结构特征及演替进程。[方法]对松材线虫病危害前为马尾松林, 现为阔叶林、针阔混交林、马尾松林的植物群落结构、Margalef物种丰富度(S_1)、个体数量、Shannon-wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)、Simpson生态优势度(C)及重要值进行了调查、分析和比较。[结果]紫金山原马尾松林植被群落正处在被地带性混交森林植被群落逐渐替代的不同演替阶段;3种植被群落乔木层主要树种相互间具有相关性,这种相关性与马尾松重要值的消涨密切相关,马尾松重要值的消涨除受到松材线虫病的影响外,还受到植树造林、直播造林、卫生伐、森林抚育等人为因素的影响;3种植被群落灌木层均未见马尾松,灌木层主要树种的相对密度消涨除了人为因素的影响外,树种的生态适应性和生理生态功能的差异是其中重要的原因;3种植被群落草本层以阔叶林中物种最为丰富,马尾松林草本层种类多于针阔混交林,草本层植物种类分布对环境有极大的依赖性;现在的马尾松林、针阔混交林、阔叶林乔、灌木层中的植物种类、 S_1 和 H' 均呈递增趋势,与 C 的变化趋势相反, H' 和 J 的变化趋势不一致,原马尾松林整体朝着马尾松阔叶混交林、落叶阔叶混交林、常绿落叶阔叶混交林方向进行演替。[结论]该研究可为紫金山森林培育提供指导。

关键词 松材线虫; 侵入; 紫金山; 马尾松群落; 演替

中图分类号 S718.54 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)36-0161-04

Influence of the Invasion of *Bursaphelenchus xylophilus* to the Succession of *Pinus massoniana* Community of Zijin Mountain

SUN Li-feng¹, XIE Chun-xia², JU Feng^{3*} et al (1. Nanjing Forestry Station, Nanjing, Jiangsu 210036; 2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing, Jiangsu 211153; 3. Administrative Bureau of Dr. Sun Yat-sen's Mausoleum, Nanjing, Jiangsu 210014)

Abstract [Objective] To explore the structural characteristics and the process of succession of the *Pinus massoniana* community that invaded by *Bursaphelenchus xylophilus* more than 30 years in Zijin Mountain. [Method] The plant community structure, Margalef species richness (S_1), individual quantity, Shannon-wiener diversity index (H'), Pielou evenness index (J), Simpson ecological dominance (C) and important value were investigated, analyzed and compared which the pine wood nematode disease was the *Pinus massoniana* forest, and now it was broad-leaved forest, coniferous and broad-leaved mixed forest and *Pinus massoniana* forest. [Result] The results showed that tree species of the three vegetation communities tree layer had correlation. This correlation was closely associated with the rise and fall of *Pinus massoniana*, besides the influence of *Bursaphelenchus xylophilus*, and tree planting, forestation, sanitation felling, forest tending such as human factors. The shrub layer were not seen *Pinus massoniana* among these three vegetation communities. The important reasoned that the rise and fall of shrub layer main tree species were its ecological adaptability and the difference between physiological and ecological functions. The richest species of herb layer was in the broad-leaved forest and then was the herb layer in *Pinus massoniana* forest. The distribution of plant species of herb layer had great dependence on the environment. The plant species, S_1 , H' among the shrub layer of the three forests all showed trend of increasing, and the change trend of C on the contrary, change trend of H' , J were discordant. The original *Pinus massoniana* forest was in succession that overall toward the *Pinus massoniana* broad-leaved mixed forest, deciduous broad-leaved mixed forest, evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest direction. [Conclusion] This study can provide guidance for the forest cultivation in Zijin Mountain.

Key words *Bursaphelenchus xylophilus*; Invasion; Zijin mountain; *Pinus massoniana* community; Succession

南京紫金山是我国著名的国家森林公园、国家AAAAA级风景名胜。自1982年以来,由于松材线虫(*Bursaphelenchus xylophilus*)的入侵和快速蔓延^[1],加上人为活动频繁,原生植被被各种次生和栽培植被取代^[2]。笔者通过对松材线虫病危害前为马尾松林,现为阔叶林、针阔混交林、马尾松林的乔木层、灌木层、草本层及层间层植物群落结构的调查,运用重要性、多样性、均匀度、生态优势度、丰富度等生物多样性研究方法,研究分析松材线虫病入侵30余年紫金山马尾松林植物群落结构特征及演替的进程,旨在为培育紫金山健康森林提供指导。

1 材料与方法

1.1 样地概况 紫金山地处长江下游南岸,江苏省南京市东部(118°48'24"~118°53'04" E, 32°01'57"~32°16'15" N),总面积3 008.8 hm²,其中森林面积2 107.6 hm²,森林覆盖率70.2%。森林郁闭度0.75~0.80。最高海拔448.9 m,年均

气温15.7℃,年均降水量1 021 mm,全年无霜期237 d,土壤为黄棕壤和黄褐土类。植物区系属暖温带落叶阔叶林与中亚热带常绿阔叶林的过渡地带,植物种类丰富,其中种子植物约有113科700余种^[3]。地带性森林植被为含有常绿成分的北亚热带常绿落叶阔叶混交林,70%以上起源于人工林,林相结构大致分为针叶林、阔叶林、针阔混交林和竹林^[4]。

1.2 调查方法 调查时间为2015—2016年,在紫金山区域选择松材线虫病危害过的、原为马尾松林,现为阔叶林、针阔混交林、马尾松林的3种植被类型。为了保证次生林演替系列各阶段群落之间的联系,在样地选择时尽可能缩小各阶段的空间距离,并使其地形因子(海拔、坡向、坡度)和土壤条件尽量保持一致。在全面踏查的基础上,采用典型选择法,对人为干扰相对较少的马尾松林、针阔混交林和常绿阔叶林进行调查,共设置样方9个(每种植被类型3个样方)。每个调查样方面积设为25 m×25 m,每个调查样方划分为4个12.5 m×12.5 m基本格子单元,各样方的基本样方面积:乔木层为12.5 m×12.5 m,更新层和灌木层为5 m×5 m,草本

基金项目 全国林业有害生物普查江苏省林业有害生物调查专题。
作者简介 孙立峰(1972—),男,山东海阳人,高级工程师,从事林业管理研究。*通讯作者,高级工程师,从事森林植保工作。

收稿日期 2017-10-20

层 1 m × 1 m, 乔木层记录 4 个基本样方所有胸径 (DBH) $I > 5$ cm 的种类、株数、高度、胸径和盖度; 灌木层在每个样地对角选取 2 个 5 m × 5 m 的样地调查灌木层的种类和数量, 并记录基径、高度及盖度; 草本层在每个样地四角及中心量取 5 个 1 m × 1 m 的样方, 调查草本层的种类、盖度、平均高; 层间层调查样地的全部层间植物种类。

1.3 数据分析方法

(1) Shannon - Wiener 多样性指数 (H')^[5]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$P_i = N_i / N$$

式中, P_i 为第 i 种的个体比例; N_i 为第 i 物种的个体数, N 为全部物种的个体总数。

(2) Pielou 均匀度指数 (J)^[6]:

$$J = H' / H'_{\max} = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, J 为均匀度; H' 为多样性指数; S 为物种数。

(3) Margalef 物种丰富度 (S_1)^[7]:

$$d_{\max} = S_1 = (S - 1) / \ln N$$

式中, S 为物种数; N 为全部物种的种群数量。

(4) 重要值 (importance value):

$$Iv = (RA + RP + RF) / 3$$

乔木层重要值计算公式: 重要值 (VI) = (相对密度 + 相对胸高断面面积 + 相对频度) / 3^[8]; 灌木层重要值计算公式重要值 (VI) = (相对密度 + 相对盖度 + 相对频度) / 3。草本层重要值计算公式: 重要值 (VI) = (相对盖度 + 相对频度) / 2^[9], 其中: 相对密度 (RA) = 1 个种的个体数 / 所有种的总个体数 × 100%; 相对胸高断面面积 (RP) = 1 个种的胸高断面面积 / 所有种的总胸高断面面积 × 100%; 相对盖度 (RP) = 1 个种的

盖度 / 所有种的总盖度 × 100%; 频度 (F) = 某种植物出现的样方数 / 全部样方数; 相对频度 (RF) = 1 个种的频度 / 所有种的频度之和 × 100%。

(5) Simpson 生态优势度指数 (C)^[10]:

$$C = \sum_{i=1}^s (Iv_i / IV)^2$$

式中, s 为群落中的种群个数; Iv_i 为第 i 个种群的重要值, IV 为该群落中所有 s 个种群的总重要值。

2 结果与分析

2.1 不同植被群落植物种类比较 根据汇总统计, 原为马尾松林, 现为阔叶林、针阔混交林、马尾松林的 3 种植被群落植物种类组成见表 1。由表 1 可知, 3 种森林群落的植物种类丰富, 均形成了乔、灌、草 3 层立体结构。物种以阔叶林最为丰富, 其次为马尾松林, 针阔混交林植物种类最低。乔木层、灌木层的物种数从小到大依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林。而草本层的物种数从小到大依次为针阔混交林、马尾松林、阔叶林。针阔混交林的草本植物种类少于马尾松林, 从而造成针阔混交林总体植物种类少于马尾松林。笔者认为, 这除了与紫金山林区特殊的地理位置和复杂的地理环境有关外, 更主要是由于乔木层植被结构的不同, 针阔混交林林分的郁闭度比马尾松林要大, 群落下部的光照强度较弱, 致使较多种类处于光补偿点之下, 从而导致林下草本层植物种类相对较少。而阔叶林草本层植物种类最多, 可能是由于演替阶段的不同, 其林下有较多耐阴植物, 这些群落能够在较阴的环境中进行天然更新和正常发育。总体而言, 处于不同演替阶段的林带形成了不同的林带间小环境, 说明植物分布特别是草本层植物分布对环境的依赖性^[11]。可见, 森林植被的多样性对草本层植物的分布格局有直接影响。

表 1 紫金山不同植被类型植物物种组成

Table 1 Plant species composition of different vegetation types in Zijin Mountain

植被类型 Vegetation types	物种数 Species number				
	总数 Total	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	层间层 Inter layer
马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	64	25	22	49	4
针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	59	27	27	34	4
阔叶林 Broad-leaved forest	77	36	33	58	6

2.2 不同植被群落乔木层树种重要值比较 森林演替是以主要树种的更替为基础, 主要树种重要值的变化能够为认识各演替阶段的过程提供群落生态学依据^[12]。笔者将马尾松林、针阔混交林、阔叶林乔木层中所有重要值大于 2.00 的树种进行统计 (表 2), 以找出 3 种植被类型乔木层主要树种的关联程度及消涨规律。重要值大于 2.00 的阔叶林有紫弹朴、冬青等 12 种; 针阔混交林有马尾松、紫弹朴等 14 种; 针叶林有马尾松、枫香、青冈等 12 种。

由表 2 可知, 紫金山原为马尾松林的 3 种植被类型乔木层主要树种相互间具有一定相关性, 绝大多数主要树种在 3 种植被群落中均有分布。群落中乔木层主要树种的重要值消长呈现几种类型。①递减类型: 包括马尾松、枫香、青冈等

树种, 重要值越来越小; ②递增类型: 包括紫弹朴、冬青、青桐、黄连木等树种, 重要值逐渐变大; ③先增后减类型: 包括山胡椒、栓皮栎、朴树、紫薇、糙叶树、石楠等树种。笔者认为, 以上 3 种重要值变化类型均与马尾松重要值的消长有密切关联。

根据相关资料^[4, 13-15]及以上比较可以看出, 紫金山原为松林, 现为阔叶林、针阔混交林及仍是松林的演替进程: 松材线虫病的危害导致长势较弱的松树死亡, 从而使次生的落叶阔叶林迅速恢复。落叶阔叶树种的发展又反过来抑制了林中健康马尾松的生长和发育, 由于马尾松为阳生树种^[12], 在光照强度充足的群落中其物质积累能力较强, 生长较快, 因此在演替前期是绝对优势种, 但当其他耐阴种类成长起来,

马尾松受到其他树种的遮蔽,加之其生态适应幅度较窄,在光照强度不足的情况下,其光合速率降低而呼吸速率升高,物质积累速度降低。此外,紫金山马尾松树龄偏高,经过病

虫害,树势衰退,抗病虫能力下降,加速了处于竞争劣势地位松树的衰退进程。

表 2 不同植被群落乔木层树种重要值比较

Table 2 Comparison of important values of tree layer tree species in different vegetation communities

序号 No.	树种 Tree species	植被类型 Vegetation types			序号 No.	树种 Tree species	植被类型 Vegetation types		
		马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	针阔混交林 Coniferous and broad- leaved mixed forest	阔叶林 Broad- leaved forest			马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	针阔混交林 Coniferous and broad- leaved mixed forest	阔叶林 Broad- leaved forest
1	马尾松	39.33	16.51	6.95	12	盐肤木	2.00		1.42
2	枫香	10.41	7.51	6.15	13	紫薇	1.98	6.46	5.59
3	青冈	5.00	1.98	1.72	14	紫弹朴	1.94	10.09	12.26
4	糙叶树	4.31	4.83	2.32	15	柿树	1.85	2.08	1.41
5	山胡椒	3.80	8.73	7.14	16	栓皮栎	1.83	7.48	3.82
6	朴树	3.72	6.58	1.35	17	冬青	1.74	0.78	9.54
7	黄连木	2.66	4.12	5.84	18	石楠	1.01	4.26	3.38
8	八角枫	2.53		0.62	19	拐枣		2.65	0.80
9	女贞	2.24	3.54	1.46	20	榉树			2.13
10	石栎	2.21	0.97	0.60	21	麻栎		2.07	1.64
11	青桐	2.01	1.52	8.54					

3种植被类型具有一定的相关性,除了紫金山海拔差异较小、面积不大外,紫金山植被的演替受到强烈的人为扰动。

①自发生松材线虫病后,中山陵景区采取科学控制治理松材线虫病的同时,大力进行了林相改造,采用生态复合原理和异龄复层混交模式,运用“林中栽阔,林下植绿”的技术,穴植、丛植栽培适应性较强的树种^[16],仅1990—2003年在林区共植树约120万株,其中常绿树种50万株。②紫金山为风景名胜,对松材线虫病疫木的伐除方式是死亡1株清理1株。吕文艳等^[17]研究表明,疫木不同伐除方式对森林植物群落演替的进程和方向均有不同程度的影响。在紫金山实践表明:经择伐后,迹地植物群落物种多样性均有一定程度的增加,但对于立地条件好的标准地,植物群落物种多样性增加更为明显,群落空间结构更趋合理,更加利于迹地的快速更新与恢复。这部分林地往往演替较快,最终发展成为现在的阔叶林。而立地条件较差的标准地,则保持了原有的针叶林或发展为针阔混交林。③风景区曾多次对原有松林进行了成林、中幼林抚育,包括对有害木质藤本植物进行砍伐清理、清杂和目的树种的脱枝修剪等。

2.3 不同植被群落灌木层树种相对密度比较 主要树种更新苗木的密度动态是森林演替系列形态的一个重要指标,在森林演替过程中,主要树种更新能力的大小是其在群落中能否取得优势种地位的后备保证。据统计,3种植被类型中灌木层相对密度大于2.00的树种见表3。由表3可知,3种植被类型群落中,灌木层主要树种的相对密度消涨呈现几种类型。①递减类型:包括女贞、青冈、糙叶树、桂花、青桐等树种,相对密度值越来越小;②递增类型:包括冬青、石楠、短叶中华石楠等树种,相对密度值逐渐变大;③先增后减类型:包括紫弹朴、枫香、朴树、黄连木。由此可见,不同树种因其生

物生态学特性不同,对随着群落的演替而改变的生态环境适应能力不同而表现出不同的更新能力。在群落演替过程中,马尾松更新能力最差,3种植被群落灌木层中均未见马尾松幼苗。丁圣彦等^[18]研究表明,光补偿点的高低是影响主要树种更新的主要原因之一,徐海兵等^[19]研究表明,在不同郁闭度条件下,马尾松天然更新幼树生长有显著差异。在郁闭度0.7左右的林分,马尾松天然更新的幼树年龄为4~9 a,平均树高4.0 m,平均胸径4.75 cm,平均冠幅1.35 m;而在郁闭度达0.9的林分,马尾松天然更新的幼树,平均树高仅2.0 m,平均胸径1.5 cm,平均冠幅0.85 m,年龄多为2~5 a,一般超过6年生以上则出现自然枯死。笔者认为,紫金山原有松林在经受松材线虫病30余年的危害及各种人为因素及自然演替下,现有3种植被类型群落均形成了乔、灌、草3层立体结构,植物种类丰富,郁闭度大,而马尾松幼苗和幼树由于它们的光补偿点较高,群落下部的光照强度使其较长时间处于光补偿点之下,天然更新受到极大制约,致使紫金山马尾松的幼苗、幼树难以正常更新。可见,树种的生态适应性和生理生态功能的差异是影响树种更替的重要原因之一。

2.4 不同植被群落多样性比较 3种植物群落样方乔木层中(表4),物种丰富度最高的为阔叶林(36种), H' 从小到大依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林, J 从小到大依次为马尾松林、阔叶林、针阔混交林, S_1 从小到大依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林, C 从大到小依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林;灌木层中,物种丰富度最高的为阔叶林(33种), H' 从小到大依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林, J 从小到大依次为阔叶林、针阔混交林、马尾松林, S_1 从小到大依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林, C 从大到小依次为马尾松林、针阔混交林、阔叶林。对比乔木层与灌木层在 H' 、 S_1 、 C

的排序都是相同的,只有 J 指数不同。

表3 不同植被群落灌木层树种相对密度比较

Table 3 Comparison of relative density of shrub layer species in different vegetation communities

序号 No.	树种 Tree species	植被类型 Vegetation types			序号 No.	树种 Tree species	植被类型 Vegetation types		
		马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	针阔混交林 Coniferous and broad- leaved mixed forest	阔叶林 Broad- leaved forest			马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	针阔混交林 Coniferous and broad- leaved mixed forest	阔叶林 Broad- leaved forest
1	山胡椒	13.48	5.79	15.33	16	柿	2.25	0.83	
2	枫香	12.36	19.01	2.79	17	冬青	1.12		6.72
3	女贞	10.11	4.13	3.14	18	石楠	1.12	1.65	3.48
4	白檀	7.87	2.48	8.71	19	栓皮栎	1.12	0.83	0.35
5	老鸦柿	6.74			20	油茶	1.12	3.31	3.14
6	青冈	6.74	1.65		21	紫弹朴	1.12	9.09	3.48
7	野桐	6.74	8.26		22	紫薇	1.12	1.65	2.44
8	糙叶树	5.62	2.48		23	白蜡树			9.06
9	桂花	5.62		0.35	24	茶		4.96	
10	朴树	3.37	9.92		25	麻栎		4.96	
11	青桐	3.37	0.83	0.70	26	野鸭椿		3.31	
12	短叶中华石楠	2.25	1.65	11.85	27	榉树			3.14
13	枸骨	2.25		2.44	28	雀梅			3.14
14	黄连木	2.25	4.96		29	山莓			6.62
15	苦槠	2.25			30	野鸭椿			4.88

表4 松材线虫病入侵后不同植被群落多样性比较

Table 4 Diversity of different vegetation communities after invasion by *Bursaphelenchus xylophilus*

群落 Community	植被类型 Vegetation types	种类 Type//种	株数 Plants//株	H'	J	S_1	C
乔木层 Tree layer	马尾松林	25	272	2.411 0	0.749 0	4.281 3	0.179 1
	针阔混交林	27	355	2.658 9	0.806 7	4.427 7	0.075 0
	阔叶林	36	335	2.843 7	0.793 5	6.019 8	0.058 7
灌木层 Shrub layer	马尾松林	22	89	2.786 8	0.901 6	4.678 5	0.075 4
	针阔混交林	27	121	2.873 1	0.871 7	5.421 4	0.061 3
	阔叶林	33	287	2.922 7	0.835 9	5.654 2	0.054 8

H' 、 J 、 S_1 、 C 有密切的关系, H' 、 S_1 、 J 的变化趋势常常一致, 而与 C 的变化趋势相反, 采用生态优势度可对群落的物种多样性结构和动态水平进行更为透彻的说明^[20]。

紫金山 3 种植被群落样方中, 乔木层和灌木层的 H' 、 S_1 的变化趋势一致, 与 C 的变化趋势相反。这与庄树宏等^[21] 的多样性指数越高, 生态优势度越小相符, 与岳明^[22] 的物种多样性指数与物种均匀度呈正相关的研究结果有差异。马克平等^[23] 研究认为, 群落均匀度指数与生态优势度是 2 个相反的概念。上述比较进一步证明了当前紫金山 3 种植物群落仍处于演替的中间阶段。而紫金山阔叶林乔灌层的物种数、个体数量、 H' 、 S_1 等指标均高于其他植被类型, 而 C 却是最低的。说明紫金山阔叶林内栖息的多种植物引起了区域生境的异质性, 使环境资源的质和量相应改变, 扩大了生态容量, 创造了相对优良而稳定的生态环境。这也证明当时的林下植阔、林内植绿、异龄复层混交是一种有效的林相改造技术。

3 结论与讨论

(1) 结果表明, 松材线虫病入侵 34 年后, 经过多年的森林生态建设及森林的自然演替, 紫金山原为松林的植物群落现已基本演替为以紫弹朴、冬青、青桐、山胡椒、马尾松、枫香等树种为主的阔叶林, 以马尾松、紫弹朴、山胡椒、枫香、栓皮

栎、朴树为主的针阔混交林, 以马尾松、枫香、青冈、糙叶树、山胡椒、朴树、黄连木为主的马尾松林。当前 3 种植被群落仍处于一个演替的中间阶段。

(2) 3 种植被群落乔木层主要树种间有相关性, 这种相关性跟马尾松重要值的消长密切相关, 马尾松重要值的消长除了受到松材线虫病的影响外, 还受到植树造林、直播造林、卫生伐、森林抚育等人为因素的影响; 3 种植被群落灌木层均未见马尾松, 表明 3 种植被群落已成为异龄复层混交林, 林下郁闭度大, 致使紫金山马尾松的幼苗、幼树难以正常更新, 灌木层主要树种的相对密度消长除了人为因素的影响外, 树种的生态适应性和生理生态功能的差异是其中重要的原因; 3 种植被群落草本层以阔叶林中物种最为丰富, 马尾松林草本层种类多于针阔混交林, 说明针阔混交林林分的郁闭度比马尾松林大, 也说明草本层植物分布对环境有极大的依赖性。

(3) 不同植被群落多样性比较表明, 被松材线虫病危害后, 马尾松林、针阔混交林、阔叶林乔木层、灌木层中的植物种类、丰富度、生物多样性指数均呈递增趋势, 多样性指数与均匀度指数不一致, 进一步证明了当前 3 种植物群落现仍处于演替的中间阶段; 当前, 被松材线虫病危害后的原马尾松群 (下转第 216 页)

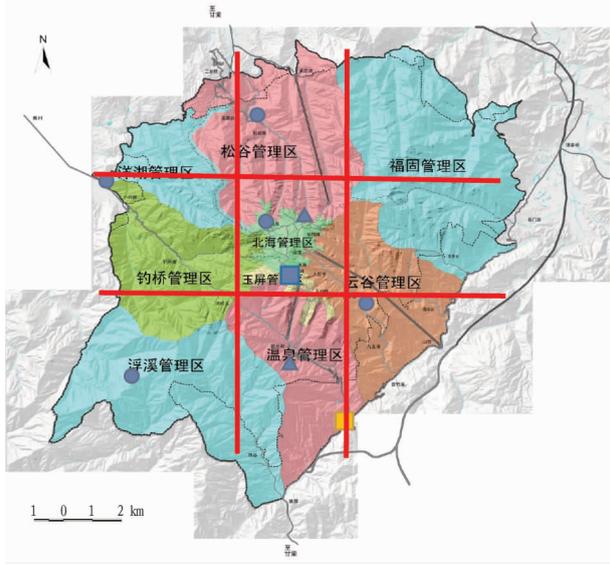


图3 黄山风景区网格布点

Fig.3 Grid layout in Huangshan Scenic Area

3.2.4 经济性比较。当前国家环保监测监管部门的仪器设备及国外在线监测设备监测指标单一、有限且价格昂贵^[7-8]。天-地-生一体化监测系统采用集成度高、低成本、小型化、低维护量的监测设备,大批量增加监控点位数

(上接第164页)

落正处在被地带性混交森林植物群落逐渐替代的正向演替阶段,即马尾松林、马尾松阔叶混交林、落叶阔叶混交林、常绿落叶阔叶混交林,并按此顺序进行自然演替。

(4)调查、分析和比较表明,虽然被松材线虫病危害后,松林资源、生态环境、自然景观都会受到严重破坏,但如果采取正确的经营方针和经营措施,自然演替与人为干预相结合,如采用择伐的方式伐除死树或濒死树,然后利用遭受病虫害危害的疏林空间、林窗,按照“植被地带性,物种多样性,结构多层次,生态优先性”的综合原则,采用生态复合原理和异龄复层混交模式,根据某些树种幼龄及成龄较耐阴的生物学特性,采用“林中栽阔,林下植绿”的技术,穴植、丛植栽培适应性较强的树种,同时进行成林、中幼林抚育,包括对有害木质藤本植物进行砍伐清理、清杂和目的树种的脱枝修剪等,加上森林的自然顺向演替,就能够避免原有松林群落向灌丛方向退化,而且能使受害地形成稳定的地带性复层混交森林植物群落。由此也能看出,人工干预下的植物群落自然演替具有一定的方向性和确定性,通过调查和分类,可以推测和诊断出演替的过程和结果,从而可根据不同的演替方向进行进一步的人工干预和规划。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 黄晓华,何承志.南京紫金山人为活动中自然植被变化调查[J].南京农专学报,1999,15(2):25-31.
- [3] 董丽娜,徐海兵,刘曙雯,等.南京紫金山国家森林公园种子植物资源调查及区系分析[J].浙江林业科技,2010,30(1):41-47.
- [4] 程小义,倪建忠.紫金山森林资源动态分析[J].江苏林业科技,2004,31

量,且安装调试简单,一般1d内即可完成现场安装和调试。因此,该方案价格便宜,普适性高,易于推广。

4 管理对策与建议

目前,基于物联网的环境空气质量监测网络建设在黄山风景区已经开展有试点项目并在运行中,过程中也出现过一些问题(如设备细节处理不够完善,与环境的相容性差等),均在不断设计、研发过程中得到解决。为此,目前运营的监测网是否完善还需要更多的时间检验,并需要不断完善和优化。

参考文献

- [1] 王海芹,高世楫.生态环境监测网络建设的总体框架及其取向[J].改革,2017(5):15-34.
- [2] 哈米达·再尼尔.浅谈我国生态环境监测现状和发展[J].科技视界,2015(4):323,397.
- [3] 彭筱峻,袁文芳,朱艳芳.生态环境监测的现状与发展趋势[J].江西化工,2009(2):25-29.
- [4] 钟小容.生态环境监测网络建设在环境监测中的应用[J].住宅与房地产,2016(24):265.
- [5] 赵纲,刘秀梅,解东方,等.环境空气自动监测与常规监测对比实验分析[J].山东环境,1999(5):29-30.
- [6] 叶荣华,周卫东,黄国胜,等.国家森林资源和生态环境综合监测及评价体系的一个技术方案[J].林业资源管理,2000(3):17-20.
- [7] 汪志国,齐文启.环境监测仪器发展现状与趋势分析[J].现代科学仪器,2007,17(4):32-35.
- [8] 黄喜玲.环境监测仪器的发展现状及对策[J].环境研究与监测,2016(2):12-15.

- (1):6-8,25.
- [5] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法:1 α 多样性的测度方法(下)[J].生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [6] 赵志模,郭依泉.生境类型生态学原理和方法[M].重庆:科学技术出版社重庆分社,1990:147-172.
- [7] 马克平.生物群落多样性的测度方法:1 α 多样性的测度方法(上)[J].生物多样性,1994,2(3):162-168.
- [8] 王国明,赵颖,陈斌,等.浙江舟山岛松材线虫入侵后松林群落的自然演替和特征[J].林业科学,2011,47(3):124-132.
- [9] 吴蓉,陈友吾,陈卓梅,等.松材线虫入侵对不同松林群落演替的影响[J].西南林学院学报,2005,25(2):39-43.
- [10] 蔡飞.安徽黄山北坡常绿阔叶林的生态优势度和物种多样性的研究[J].安徽师范大学学报(自然科学版),1993,16(2):45-48.
- [11] 居峰,董丽娜,陈希,等.不同植被类型蛾类及植物相似性分析[J].江苏林业科技,2010,37(6):1-6.
- [12] 丁圣彦,宋永昌.演替研究在常绿阔叶林抚育和恢复上的应用[J].应用生态学报,2003,14(3):423-426.
- [13] 居峰,王鹏善,刘曙雯,等.紫金山蝶类区系种类变化及分析[J].安徽农业科学,2010,38(3):1279-1284.
- [14] 熊文愈,韩福庆,姚琢.南京灵谷寺森林的变化分析[J].南京林产工业学院学报,1983(2):1-23.
- [15] 徐海兵,余金保,万志洲,等.南京中山陵园风景区森林资源消长变化情况调查与分析[J].江苏林业科技,2004,31(1):9-11.
- [16] 李晓储,万志洲,黄利斌,等.紫金山风景林相改造异龄复层混交模式研究[J].中国城市林业,2006,4(4):9-12.
- [17] 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(3):4-8.
- [18] 丁圣彦,宋永昌.常绿阔叶林演替过程中马尾松消退的原因[J].植物学报,1998,40(8):755-760.
- [19] 徐海兵,陶承友,万志洲,等.南京紫金山风景区人工促进马尾松天然更新的研究[J].江苏林业科技,2001,28(5):27-29.
- [20] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏.植物群落物种多样性研究综述[J].生态学杂志,2001,20(4):55-60.
- [21] 庄树宏,王克明,陈礼学.昆崙山老杨坟阳坡与阴坡半天然植被植物群落生态学特征的初步研究[J].植物生态学报,1999,23(3):238-249.
- [22] 岳明.秦岭及陕北黄土区辽东栎林群落物种多样性特征[J].西北植物学报,1998,18(1):124-131.
- [23] 马克平,叶万辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性研究:VIII.群落组成随海拔梯度的变化[J].生态学报,1997,17(6):593-600.