

松材线虫病除治迹地自然恢复过程中 物种多样性的动态变化

王国明, 赵颖, 陈斌, 鲁专, 陈叶平, 邱海啸

(浙江省舟山市林业科学研究所, 浙江 定海 316000)

摘要: 对舟山海岛松材线虫病 *Bursaphelenchus xylophilus* 发生前设置的 7 个典型松林样地进行复查。结果表明: 通过 17 a 的自然恢复, 舟山海岛松材线虫病除治迹地已演替到针阔混交林或阔叶林阶段, 其乔木层的多样性有所增加, 增加幅度顺序为: 演替到落叶阔叶林和常绿落叶阔叶混交林的马尾松 *Pinus massoniana* 纯林 > 演替到落叶阔叶林的黑松 *P. thunbergii* 纯林 > 演替到针阔混交林的马尾松纯林 > 演替到落叶阔叶林的黑松阔叶树混交林 > 演替到常绿落叶阔叶混交林的马尾松阔叶树混交林。马尾松阔叶树混交林更新层和灌木层的多样性下降, 原更新树种极少的黑松纯林更新层多样性上升, 其他林分的更新层和灌木层多样性变化不大, 而草本层的多样性均明显减少。恢复形成至相同阶段的植被类型其多样性特征缺乏相似性, 更多地取决于原有群落的组成结构。根据自然恢复过程中物种多样性的动态变化规律, 结合海岛实际, 提出应在除治迹地补植地带性植被的建群种或优势种的建议, 以丰富物种和景观多样性。表 2 参 21

关键词: 森林生态学; 松材线虫病; 除治迹地; 物种多样性; 演替; 舟山海岛

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2010)02-170-08

Species diversity with natural restoration in slash after control of pine wilt disease

WANG Guo-ming, ZHAO Ying, CHEN Bin, LU Zhuan, CHEN Ye-ping, QIU Hai-sheng

(Zhoushan Forestry Institute, Dinghai 316000, Zhejiang, China)

Abstract: After a 17-year natural restoration period on Zhoushan Island, a resurvey of seven typical pine plots of masson pine (*Pinus massoniana*), Japanese black pine (*Pinus thunbergii*), and combinations of broadleaf and conifer forests, set up before occurrence of the pine wilt disease, was undertaken. Results showed that sample sites evolved to conifer-broadleaf mixed forest or broadleaf forest types with diversity of the tree layer increasing. Ranking of tree layer diversity was as follows: succession of pure masson pine forest to deciduous broadleaf forest and mixed, evergreen and deciduous broadleaf forest > succession of Japanese black pine forest to deciduous broadleaf forest > succession of pure masson pine forest to conifer and broadleaf mixed forest > succession of a mixed forest of Japanese black pine and broadleaf trees to deciduous broadleaf forest > succession of a mixed forest of masson pine and broadleaf trees to evergreen and deciduous broadleaf mixed forest. Also, in the mixed forest of masson pine and broadleaf trees, diversity of regeneration layer and shrub layer decreased, in the Japanese black pine forest diversity of the regeneration layer increased, other forest stands changed little, and diversity of the herb layer decreased. After natural restoration, diversity of vegetation types exhibited little similarity. Based on the dynamic variation rule of species diversity during natural restoration as well as conditions on Zhoushan Island, species diversity should be enriched and the landscape improved with island native zonal vegetation. [Ch, 2 tab. 21 ref.]

Key words: forest ecology; pine wilt disease; control slash; species diversity; succession;

收稿日期: 2009-03-05; 修回日期: 2009-05-04

基金项目: 国家林业局科技成果(推广)计划项目(200518-1)

作者简介: 王国明, 高级工程师, 从事植被与植物资源开发研究。E-mail: km521@21cn.com

Zhoushan Island

舟山海岛于 1992 年首先在定海发现松材线虫病 *Bursaphelenchus xylophilus*。由于该病害的入侵和蔓延, 导致松树大量枯死或采用皆伐的措施, 在短时间内形成了大面积的松材线虫病除治迹地, 改变了原有松林内其他种类的空间分布和格局, 直接影响松林的自然演替进程, 也导致当地群落物种多样性因演替途径和方向的改变而发生变化。国内外针对不同群落或不同次生演替阶段的物种多样性有着广泛的研究^[1-8], 退化植被自然恢复过程中物种多样性的研究主要针对采伐迹地、火烧迹地等^[9-12], 关于松材线虫病除治迹地自然恢复过程中物种多样性变化的研究目前还是空白, 仅见有松材线虫病入侵后不同伐倒强度对马尾松 *Pinus massoniana* 林植物多样性以及对松林群落、演替和主要种群生态位的影响研究等^[13-18]。松材线虫病的发生严重危害松林的健康发展, 但从某种意义上讲, 又可加速森林群落的动态过程。笔者通过对舟山海岛 17 a 前所设置的典型松林样地复查, 分析松材线虫病发生前后各类马尾松, 黑松 *P. thunbergii* 纯林及其松阔混交林物种多样性的变化特征, 研究中亚热带北缘海岛地区除治迹地自然恢复过程中物种多样性的动态变化规律, 可了解群落演替过程和规律, 对指导退化植被的改造和重建有重要的实际意义。

1 自然概况与研究方法

1.1 自然概况

研究地区位于浙江舟山的舟山岛和金塘岛, 处于 29°56′ ~ 30°15′N, 121°49′ ~ 122°15′E, 以 250 m 以下低丘为主, 最高峰为黄杨尖, 海拔 503.6 m。年平均气温 16.5 °C, 最热月(8 月)平均气温 27.3 °C, 最冷月(1 月)平均气温 5.7 °C, 极端最高气温 40.2 °C, 极端最低气温 -6.1 °C, ≥ 10 °C 平均积温 5 120.8 °C, 无霜期 251 d, 雨日 150.1 d, 年降水量 1 351.3 mm, 平均年蒸发量 1 470.4 mm, 相对湿度 79%。丘陵山地土壤属红壤和粗骨土土类, 面海山坡土壤盐基饱和度偏高, 属饱和和红壤或中性粗骨土。植被属中亚热带常绿阔叶林北部亚地带的浙闽山丘甜槠木荷林区(IV Aiiia-2)^[19]。典型的原生植被已不复存在, 现有的丘陵山地植被除部分更新为松林外, 以林相残破、低质的次生阔叶林和灌木林为主, 常见的有枫香 *Liquidambar formosana* 林, 栓皮栎 *Quercus variabilis* 林, 白栎 *Q. fabri* 林及其萌生灌丛等, 常绿阔叶林仅存零星的青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 林和苦槠 *Castanopsis sclerophylla* 林等。

1.2 研究方法

1.2.1 典型松林类型选择 根据马尾松或黑松在乔木层的重要值大于等于 80% 为纯林, 马尾松或黑松重要值大于等于 50%, 又小于 80%, 而阔叶树的重要值大于等于 20% 又小于 50% 为针阔混交林的划分原则, 将松材线虫病发生前的舟山海岛松林划分为马尾松纯林、黑松纯林、马尾松与阔叶树混交林及黑松与阔叶树混交林 4 种类型, 基本涵盖了舟山海岛松林的不同类型。同时通过松林演替方向的分析, 共选择 7 个样地开展松材线虫病发生前后的物种多样性调查。所选样地的海拔高度一般在 100 m 以下, 处于中坡至下坡, 调查时间为 1991 年(松材线虫病发生前 1 a), 复查时间为 2008 年。通过除治、封禁和自然演替, 现已基本成林, 见表 1。

1.2.2 样地调查和统计方法 采用样地调查法, 样地面积 20 m × 20 m。样地划分为 4 个 10 m × 10 m 基本格子单元, 各样地的基本样方面积为: 乔木层 10 m × 10 m, 更新层和灌木层 5 m × 5 m, 草本层 1 m × 1 m。乔木层记录所有胸径 ≥ 5 cm 种的株数、高度、胸径和盖度, 更新层记录所有种的株数、高度和盖度, 灌木层和草本层记录所有种的多度、高度和盖度。调查后分别计算各层次的重要值, 其中: 乔木层的重要值 = (相对密度 + 相对胸高断面积 + 相对频度)/3, 更新层的重要值 = (相对密度 + 相对盖度 + 相对频度)/3, 灌木层的重要值 = (相对盖度 + 相对频度)/2, 草本层的重要值 = (相对盖度 + 相对频度)/2。式中, 相对密度 = (1 个种的个体数/所有种的总个体数) × 100%, 相对胸高断面积 = (1 个种的胸高断面积/所有种的总胸高断面积) × 100%, 相对盖度 = (1 个种的盖度/所有种的总盖度) × 100%, 相对频度 = (1 个种的频度/所有种的频度之和) × 100%。

1.2.3 物种多样性指数计算^[20] 采用物种丰富度指数、物种多样性指数和群落均匀度指数来衡量物种

表1 松材线虫病发生前松林样地的基本特征及演替结果

Table 1 The basic characteristic of pine plots before the pine wilt disease occurring and the succession results

样地号	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向/ (°)	坡位	郁闭度	松林类型	优势种	演替结果	演替后乔木层 优势种
1	80	15	N	中	0.8	马尾松纯林	马尾松	落叶阔叶林	白栎
2	45	21	NW15	中下	0.8	马尾松纯林	马尾松	常绿落叶阔叶混交林	青冈, 四川山矾, 枫香
3	60	26	E	中	0.8	马尾松纯林	马尾松	针阔混交林	马尾松, 栓皮栎
4	50	27	W	中下	0.9	马尾松, 阔叶 树林	马尾松, 老鼠矢	常绿落叶阔叶 混交林	石栎, 四川山矾, 栓皮栎
5	80	36	E	中上	0.5	黑松纯林	黑松	落叶阔叶林	枫香
6	100	22	EN40	中	0.7	黑松纯林	黑松	落叶阔叶林	沙朴
7	75	27	WN35	中下	0.7	黑松, 阔叶树林	黑松, 枫香	落叶阔叶林	白栎, 枫香

多样性。物种丰富度指数 $R = S$, 物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数) $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 均匀度指数(Pielou 指数) $J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$ 。其中, S 为每一样地中的物种总数, P_i 是种 i 的重要值 N_i 占所有种重要值 N 的比例, 即 $P_i = N_i / N$ 。笔者采用重要值作为多样性指数的计算依据^[1,5]。

2 结果与分析

2.1 松材线虫病发生前不同松林类型的物种多样性

多样性指数测定结果见表2。在松材线虫病发生前, 马尾松和黑松纯林乔木层的丰富度只有1~3, 物种多样性指数为0~0.630, 明显低于针阔混交林的9~10及1.774~1.874。分布也以针阔混交林均匀, 表明松林纯林树种组成单调, 偶尔伴生枫香, 山合欢 *Albizia kalkora*, 黄檀 *Dalbergia hupeana* 和栓皮栎等个别阔叶树。

更新层的物种多样性具一定差异, 这与样地所处的生境和松林起源有关, 进而影响到演替的趋向。其中6号样地黑松纯林最低, 丰富度只有3, 物种多样性指数为0.585, 1号和5号样地的马尾松和黑松纯林其次, 丰富度均为8, 物种多样性指数分别为1.476和1.693, 2号和3号样地的马尾松纯林与4号和7号样地的马尾松和黑松与阔叶树混交林最高, 丰富度介于11~13, 物种多样性指数为2.090~2.371。分析其原因是, 6号样地的黑松林起源于反复开垦的弃耕地, 当初黑松林正处于恢复的初期, 林分稀疏, 林下几乎都是黑松更新幼苗, 仅见个别沙朴 *Celtis tetrandra* ssp. *sinensis*, 榔榆 *Ulmus parvifolia* 的实生苗, 没有其他阔叶更新树种的树桩, 多样性指数最低; 1号和5号样地的松林起源于反复樵采的荒山, 植被退化相对严重, 乔木树种较少, 前者以白栎占优势, 伴生山合欢, 黄檀, 化香 *Platycarya strobilacea* 等, 后者以化香占优势, 伴生黄檀、山合欢和榔榆等; 其他4个样地林下则有较多的更新树种, 主要有以下2个原因, 一是林地多岩石、石块, 原生植被遭砍伐后, 未进一步遭到破坏, 除白栎、枫香和山合欢外, 还保留了较多的青冈, 四川山矾 *Symplocos setchuensis* 和冬青 *Ilex purpurea* 等常绿阔叶树的根桩, 如2号样地; 二是立地条件较好, 周围又有较多的阔叶树种源, 通过多年封禁后不断侵入, 植被得到较快恢复, 如另3个样地中常见的白栎, 枫香, 栓皮栎, 黄檀, 冬青, 野柿 *Diospyros kaki* var. *sylvestris* 和刺楸 *Kalopanax septemlobus*, 3号和4号样地常见的樟树 *Cinnamomum camphora* 和苦槠, 4号样地常见的石栎 *Lithocarpus glaber* 和老鼠矢 *Symplocos stellaris* 等。

3号和4号样地灌木层的丰富度相对较低, 分别为13和12, 1号和5号样地较高, 分别为16和15, 2号、6号和7号样地最高, 为18~22; 灌木层物种多样性指数虽有一定的变化规律, 但都比较接近, 介于2.319~2.815, 所分布的种类多为广布性的习见种, 如欆木 *Loropetalum chinense*, 柃木 *Eurya japonica*, 乌饭 *Vaccinium bracteatum*, 赛山梅 *Styrax confusus*, 白檀 *Symplocos paniculata*, 映山

红 *Rhododendron simsii*, 算盘子 *Glochidion puberum*, 紫金牛 *Ardisia japonica*, 豆腐柴 *Premna microphylla*, 隔药柃 *Eurya muricata*, 日本野桐 *Mallotus japonicus*, 茅莓 *Rubus parvifolius*, 胡颓子 *Elaeagnus pungens*, 野鸦椿 *Euscaphis japonica* 和 梔子 *Gardenia jasminoides* 等。

草本层的丰富度指数以 5 号样地最高(24), 物种多样性指数 2.605; 1 号、6 号和 7 号样地丰富度和物种多样性指数其次, 丰富度为 17 ~ 18, 多样性指数为 2.576 ~ 2.664; 2 号和 3 号样地次之, 丰富度指数分别为 11 和 12, 多样性指数分别 2.053 和 2.198; 4 号样地最低, 丰富度指数仅为 4, 物种多样性指数为 0.944。这是由于 5 号样地郁闭度较低, 林下更新层和灌木层的盖度没有完全覆盖林地, 各类草本得以生长, 而 4 号样地芒萁 *Dicranopteris pedata* 覆盖了整个林地, 极少有其他草本入侵。在

表 2 松材线虫病发生前后群落分层物种多样性

Table 2 Species diversity of community layers before and after the pine wilt disease

样地号	层次	物种丰富度		Shannon-Wiener 指数		均匀度指数	
		发生前	发生后	发生前	发生后	发生前	发生后
1	乔木层	1	11	0	1.852		0.773
	更新层	8	8	1.476	1.717	0.710	0.826
	灌木层	16	21	2.400	2.769	0.865	0.910
	草本层	17	3	2.576	0.796	0.909	0.724
2	乔木层	2	14	0.440	2.233	0.636	0.846
	更新层	13	11	2.249	2.040	0.877	0.851
	灌木层	19	22	2.627	2.706	0.892	0.875
	草本层	11	6	2.053	1.605	0.856	0.896
3	乔木层	3	6	0.515	1.471	0.469	0.820
	更新层	11	11	2.156	2.295	0.899	0.957
	灌木层	13	14	2.319	2.284	0.904	0.865
	草本层	12	6	2.198	1.618	0.885	0.903
4	乔木层	9	10	1.774	1.954	0.807	0.849
	更新层	13	7	2.371	1.676	0.925	0.861
	灌木层	12	9	2.354	0.947	0.979	0.829
	草本层	4	1	0.944	0	0.681	—
5	乔木层	3	6	0.630	1.787	0.573	0.997
	更新层	8	7	1.693	1.591	0.814	0.818
	灌木层	15	14	2.400	2.361	0.886	0.894
	草本层	24	14	2.605	2.136	0.820	0.809
6	乔木层	2	6	0.306	1.591	0.441	0.888
	更新层	3	7	0.585	1.632	0.533	0.839
	灌木层	18	20	2.506	2.839	0.867	0.948
	草本层	18	8	2.583	1.727	0.894	0.830
7	乔木层	10	14	1.874	2.406	0.814	0.912
	更新层	11	10	2.090	2.144	0.872	0.931
	灌木层	21	22	2.815	2.745	0.925	0.888
	草本层	18	11	2.664	1.939	0.922	0.809

其他样地中林地乔灌木的抑制作用较弱, 有较大的空间可以容纳较多的草本生长, 多样性指数较高, 且比较接近。

通过各类多样性指数比较分析, 各层次的丰富度指数与物种多样性指数的变化趋势基本一致, 而均匀度指数则不同。均匀度指群落内各物种的相对多度, 均匀度越大, 反映出群落内各物种的重要值越接近^[2], 其中乔木层变化最大, 以松林纯林最低, 针阔混交林组成种类较多, 均匀度较高。其他层次除6号样地更新层(0.533)和4号样地草本层(0.681)的均匀度最低外, 其余都比较接近。

2.2 松材线虫病除治迹地自然恢复过程中物种多样性的动态变化

自从松材线虫病发生后, 采取皆伐措施或任其自然枯死, 疾速地改变了原有松林的演替方向。因松树被清除, 林下的乔灌木树种得以迅速发展, 通过17a的自然恢复, 分别形成了针阔混交林和各种类型的阔叶林(表1)。各层次的物种多样性因原松林组成结构、树种生物学与生态学特性及立地条件等不同也发生了相应的变化。

2.2.1 马尾松纯林的物种多样性变化 马尾松纯林通过17a演替后, 乔木层的丰富度、物种多样性指数都有明显增加, 并因种类的增加, 分布也更为均匀, 其中演替到常绿落叶阔叶林的林分多样性变化最明显, 丰富度从2到14, 物种多样性指数从0.440到2.233; 演替到落叶阔叶林的林分次之, 丰富度从1到11, 物种多样性指数从0到1.852; 演替到针阔混交林的变化较小, 丰富度从3到6, 物种多样性指数从0.515到1.471。从表2可见每个样地更新层和灌木层的多样性指数变化不是很大, 其组成种类基本与原来相同。而草本层的丰富度、物种多样性指数皆明显减少, 1号样地减少最显著, 表明乔木层发展后, 林分逐渐趋荫, 对草本层的影响最大, 原来生长在松林中的一些喜光草本, 如糙三脉叶紫菀 *Aster ageratoides* var. *scaberuleus*, 单头紫菀 *Aster turbinatus*, 泽兰 *Eupatorium japonicum*, 黄毛耳草 *Hedyotis chrysotricha*, 芒 *Miscanthus sinensis* 和一枝黄花 *Solidago decurrens* 等由于生境的改变已从林下消失, 现多见于林缘和林隙, 林下常见的多为薹草 *Carex* spp., 鳞毛蕨 *Dryopteris* spp., 淡竹叶 *Lophatherum gracile*, 杏香兔儿风 *Ainsliaea fragrans* 和金星蕨 *Parathelypteris glanduligera* 等。

2.2.2 黑松纯林的物种多样性变化 黑松纯林均演替到落叶阔叶林, 同样乔木层丰富度和物种多样性指数有所增加, 但不及马尾松纯林演替结果明显, 丰富度分别从2, 3到6, 物种多样性指数从0.306, 0.630到1.591, 1.787, 原来处于乔木层的单优树种黑松已消失, 一些生长较快或原植株较大的更新层树种及个别灌木进入到乔木层, 如枫香、山合欢和化香等, 但优势都不明显, 分布更均匀。5号样地更新层和灌木层的状况与马尾松纯林类似, 林下种类变化不大, 因没有更多的种类侵入, 此2层树种基本维持原来的格局, 而6号样地原有更新树种稀少, 黑松枯死后周围更新树种相继侵入, 因而多样性有所增加。草本层丰富度和物种多样性指数有所减少, 但物种多样性依旧要比马尾松纯林的演替结果高, 这是由于原有黑松林分郁闭度较低以及起源于开垦山所致, 林地一直未被木本植物完全覆盖。因此, 除了一些阳性草本逐渐消失外, 还保留或侵入一些喜荫的种类, 如野青茅 *Deyeuxia arundinaceae*, 薹草, 大吴风草 *Farfugium japonicum*, 鼠尾草 *Salvia japonica*, 酢浆草 *Oxalis corniculata* 和求米草 *Oplismenus undulatifolius* 等。

2.2.3 马尾松阔叶树混交林的物种多样性变化 马尾松阔叶树混交林通过17a的自然封育后已演替到常绿落叶阔叶混交林阶段。从物种多样性来看, 乔木层的丰富度和物种多样性指数有小幅增加, 且物种发生了一定的变化, 反映出原有针阔混交林在马尾松死亡后, 种间竞争增强, 原来处于更新层的石栎、四川山矾和冬青等较多地进入乔木层, 而老鼠矢等有所减少; 更新层的多样性明显下降, 表明针阔混交林向常绿落叶阔叶林方向演替过程中, 随着环境的不断改变, 一些阳性更新树种如山合欢、黄檀和栓皮栎等已逐渐消失, 连原来占优势的白栎比例也显著下降, 目前更新层中以石栎占绝对优势, 伴生四川山矾等一些较耐荫树种; 同样一些阳性的灌木如美丽胡枝子 *Lespedeza formosa*, 马银花 *Rhododendron ovatum* 和日本野桐等也渐渐退出此类生境, 导致灌木层的丰富度和物种多样性指数下降, 而耐荫的柃木、榿木和赛山梅等优势更加明显, 结果均匀度降低; 原有针阔混交林因光线还充足, 能容纳少量草本植物生长, 但随着群落环境的变化, 芒萁自身的生存压力加重, 彻底排挤了其他

草本的生存。

2.2.4 黑松阔叶树混交林的物种多样性变化 黑松阔叶树混交林已演替到落叶阔叶林阶段。从物种多样性来看, 乔木层丰富度和物种多样性指数明显增加, 原来乔木层占优势的黑松只剩个别植株, 组成更趋复杂化, 种类更多, 分布更均匀, 一些灌木和小乔木也上升到乔木层, 如黄檀、化香、赛山梅和隔药桤等; 但更新层和灌木层的种类基本没有发生变化, 如更新层还是常见的枫香、冬青、白栎、化香、黄檀、野柿、刺楸和榔榆等, 灌木层如赛山梅, 榿木, 糙叶天仙果 *Ficus erecta* var. *beeheyana*, 紫金牛, 豆腐柴, 胡颓子, 山莓 *Rubus corchorifolius*, 白檀, 乌饭和柃木等等, 其各项指数基本维持在同一水平, 主要原因是由于周围缺少种源, 没有其他新的更新树种侵入, 灌木树种仍为原有的几种, 因此, 两者均维持原来的状态; 草本层的多样性有所减少, 由于环境更加郁闭, 原来还能在针阔混交林中生存的喜光草本已逐渐消失, 留下鳞毛蕨 *Dryopteris* spp., 渐尖毛蕨 *Cyclosorus acuminatus*, 狗脊蕨 *Woodwardia japonica* 等蕨类植物和藁草, 野青茅, 大吴风草, 淡竹叶和香香兔儿风等耐荫草本。

通过对自然恢复形成的植被类型的组成、结构进行分析, 处于阔叶林阶段的群落大多还处在演替的初期而尚未稳定, 从演替序列来看没有表现出明显的动态规律, 也就是说反映不出处于相同演替阶段的群落具有相似性, 主要反映的是初始的植物种类与演替结果有关。总体上表现为种类渐趋复杂, 各层次均匀度指数波动不大, 以单一物种占绝对优势的情况已极少见。

3 讨论

松材线虫病除治迹地通过 17 a 的自然恢复, 所调查的 7 个松林样地已恢复到针阔混交林、落叶阔叶林和常绿落叶阔叶林等阶段。总体而言, 乔木层树种更为丰富, 多样性均有所增加, 与栓皮栎林皆伐后自然恢复过程类似, 乔木层物种丰富度和多样性指数基本上随恢复时间的增加而增加^[9], 其他层次则显复杂。由于受原有松林的起源、组成种类以及环境影响结果, 相同演替阶段的多样性不具有相似性, 差异显著, 也即次生演替前期阶段群落的物种组成在很大程度上取决于被干扰前植被结构及其组成^[21]。从乔木层的分析可知, 由马尾松纯林演替形成的常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林, 马尾松阔叶树混交林演替形成的常绿落叶阔叶混交林, 黑松阔叶树混交林演替形成的落叶阔叶混交林物种多样性较丰富, 而由马尾松纯林演替形成的针阔混交林, 黑松纯林演替形成的落叶阔叶林的物种多样性则相对较低。此种情况反映出后者更新树种种源单调或周围缺少丰富的种源, 尤其是常绿树种缺乏, 既不利于植被的恢复和功能的稳定, 也制约了林分景观的改善和多样性的进一步提高, 因此, 宜借鉴海岛地带性植被的组成, 及早补植地带性植被的建群种和优势种, 如青冈, 苦槠, 石栎, 红楠 *Machilus thunbergii* 以及舟山新木姜子 *Neolitsea sericea*, 普陀樟 *Cinnamomum japonicum* var. *chenii*, 全缘冬青 *Ilex integra* 和铁冬青 *I. rotunda* 等, 促进或丰富物种和景观多样性。

由于群落中的更新树种决定着群落近期的演替结果, 对植被的恢复结果起着决定性作用, 也将影响到植被重建的树种选择, 因此, 将乔木树种的幼苗、幼树(胸径小于 5 cm)单独作为一层——更新层来进行多样性分析, 可为进行有效的更新改造提供理论指导。更新树种的动态变化既取决于原有松林的起源和组成, 又与周围种苗来源和立地条件密切相关。

参考文献:

- [1] 黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究[J]. 生态学报, 2000, 20 (2): 193 - 198.
HUANG Zhongliang, KONG Guohui, HE Daoquan. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, 20 (2): 193 - 198.
- [2] 郭全邦, 刘玉成, 李旭光. 缙云山森林次生演替序列群落的物种多样性动态[J]. 应用生态学报, 1999, 10 (5): 521 - 524.
GUO Quanbang, LIU Yucheng, LI Xuguang. Dynamics of species diversity in secondary succession series of forest communities in Jinyun Mt. [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, 10 (5): 521 - 524.
- [3] 刘玉成, 缪世利, 杜道林. 四川缙云山常绿阔叶林次生演替及其物种多样性的研究[J]. 武汉植物学研究, 1993, 11 (4): 327 - 337.

- LIU Yucheng, MIAO Shili, DU Daolin. Studies on species diversity in the secondary succession of the evergreen broadleaved forests in Jinyun Mountain of Sichuan Province [J]. *J Wuhan Bot Res*, 1993, **11** (4): 327 – 337.
- [4] 韩玉萍, 李雪梅, 刘玉成. 缙云山常绿阔叶林次生演替序列群落物种多样性动态研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2000, **25** (1): 62 – 68.
- HAN Yuping, LI Xuemei, LIU Yucheng. A study on the dynamics of species diversity of the secondary successional communities of evergreen broad-leaved forests on Jinyun Mountain [J]. *J Southwest China Norm Univ Nat Sci Ed*, 2000, **25** (1): 62 – 68.
- [5] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究(Ⅱ)丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15** (3): 268 – 277.
- MA Keping, HUANG Jianhui, YU Shunli, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China (Ⅱ) Species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecol Sin*, 1995, **15** (3): 268 – 277.
- [6] 谢晋阳, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J]. 生态学报, 1994, **14** (4): 337 – 344.
- XIE Jinyang, CHEN Lingzhi. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of north China [J]. *Acta Ecol Sin*, 1994, **14** (4): 337 – 344.
- [7] 黄建辉, 高贤明, 马克平, 等. 地带性森林群落物种多样性的比较研究[J]. 生态学报, 1997, **17** (6): 611 – 618.
- HUANG Jianhui, GAO Xianming, MA Keping, *et al.* A comparative study on species diversity in zonal forest communities [J]. *Acta Ecol Sin*, 1997, **17** (6): 611 – 618.
- [8] 金则新. 浙江天台山常绿阔叶林次生演替序列群落物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2002, **19** (2): 133 – 137.
- JIN Zexin. On species diversity of secondary successional community of evergreen broad-leaved forests at Mount Tiantai of Zhejiang [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2002, **19** (2): 133 – 137.
- [9] 史作民, 刘世荣, 程瑞梅. 宝天曼地区栓皮栎林恢复过程中高等植物多样性变化[J]. 植物生态学报, 1998, **22** (5): 415 – 421.
- SHI Zuomin, LIU Shirong, CHENG Ruimei. Changes in plant species diversity in a restoration sequence of quercus variabilis forest stands in Bao Tianman Mountain [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1998, **22** (5): 415 – 421.
- [10] 郭泉水, 王德艺, 冯天杰. 雾灵山落叶阔叶林采伐迹地物种多样性和植物种群动态变化研究[J]. 应用生态学报, 1999, **10** (6): 645 – 649.
- GUO Quanshui, WANG Deyi, FENG Tianjie. Species diversity and population dynamics of plants on deciduous broad leaved forest slash at Wuling Mountain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **10** (6): 645 – 649.
- [11] 王玉涛, 侯广维, 马钦彦, 等. 川西高山松林火烧迹地植被天然恢复过程中物种多样性动态研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, **27** (2): 181 – 186.
- WANG Yutao, HOU Guangwei, MA Qinyan, *et al.* Dynamics of species diversity in the natural restoration progress of the *Pinus densata* burned areas in Western Sichuan Province [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2005, **27** (2): 181 – 186.
- [12] 罗涛, 何平, 张志勇, 等. 渝西地区火烧迹地不同植被恢复方式下的物种多样性动态[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, **29** (6): 118 – 123.
- LUO Tao, HE Ping, ZHANG Zhiyong, *et al.* Dynamics of species diversity of burn blanks under different restoration ways in Western Chongqing [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2007, **29** (6): 118 – 123.
- [13] 石娟, 骆有庆, 宋冀莹, 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, 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.
- [14] TOYOHARA G, OKUDA T, FUKUSHIMA A, *et al.* Change of the vegetation after pine damage in Miyajima Island, Hiroshima [J]. *Jpn J Ecol*, 1986, **35**: 609 – 619.
- [15] DA L, OHSAWA M. Abandoned pine-plantation succession and the influence of pine mass-dieback in the urban landscape of Chiba, central Japan[J]. *Jpn J Ecol*, 1992, **42**: 81 – 93.
- [16] 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): 39 – 43.
- 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): 39 – 43.
- [17] 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.

[18] 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): 76 - 82.

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): 76 - 82.

[19] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 851 - 853.

[20] 马克平. 生物群落多样性的测度方法[M]//钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141 - 165.

[21] GRAU R H, ARTURI M F, BROWN A D, *et al.* Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in Argentinean subtropical montane forests[J]. *For Ecol Manage*, 1997, **95**: 161 - 171.

“竹炭生产关键技术、应用机理及系列产品开发” 获国家科学技术进步奖二等奖

2010年1月11日上午, 中共中央、国务院在北京举行国家科学技术奖励大会。由中国工程院院士、浙江林学院名誉校长张齐生教授主持, 浙江林学院作为主持单位, 南京林业大学、遂昌文照竹炭有限公司等7家单位共同参与的“竹炭生产关键技术、应用机理及系列产品开发”项目, 历时10余年潜心研究, 获得了2009年度国家科学技术进步奖二等奖。

从1999年开始, 张齐生院士与项目组成员一起, 开始针对竹炭生产关键技术以及应用机制进行研究。这项研究工作得到了浙江省科技厅的支持, 并先后联合衢州民心炭业有限公司、遂昌文照竹炭有限公司等近10家竹炭企业, 主持召开了国际竹炭、竹醋液学术研讨会, 邀请国内外专家共同进行学术交流, 以提升项目组的研究水平。

研究发现: 竹炭具有木炭不具有的微观结构和多种性能, 竹材的微管束、薄壁细胞、导管形成的竹炭微观空隙结构, 类似并接近于由五元环和六元环所形成的富勒炭和碳纳米管结构; 项目研究揭示了竹炭产生远红外、释放负离子及屏蔽效应的作用机制, 科学地阐明了竹炭作为环保和保健产品的机制, 为竹炭系列产品的开发提供了理论依据; 先后研制了机械化竹炭生产设备, 揭示了炭化温度与竹炭的比表面积、得率及各项理化性能的关系并应用于生产; 指导企业开发了以竹炭竹醋液为原料的300多个品种的产品, 制定空气净化用竹炭的国家标准, 规范竹炭生产企业的产品质量标准, 为产品开发和正确引导消费提供了依据; 项目研究过程中获得发明专利11项、实用新型专利17项, 制定“空气净化用竹炭”“竹炭基本理化性能测定方法”“竹炭”等国家标准3项; 出版著作2部, 论文集1部; 在国内外核心刊物上发表论文33篇, 形成了一支稳定的高水平科研队伍。

据介绍, 项目组已经利用研究成果, 先后在浙江省、福建省、江苏省等15家企业推广应用, 先后开发了包括吸附净化系列、纳米改性竹炭系列、竹炭纤维系列、竹炭基复合系列、竹炭工艺品系列、竹炭护肤洗涤用品系列、竹炭保健系列等7个系列的300多种产品, 产品出口日本、韩国、欧美等国家和地区, 国内销售遍及20多个省市, 已建成20多条竹炭示范生产线, 经济效益显著。