

马尾松人工林物种多样性对火干扰响应的研究

方彦 (南京森林公安高等专科学校, 江苏南京 210046)

摘要 研究了对照样地和火干扰样地马尾松人工林的物种多样性, 对照样地内所有植物的物种丰富度指数。结果表明, 火干扰样地内物种和植物个体数目均高出对照样地, 火干扰样地各层和所有植物的均匀度值(J)显著提高, 树冠层、灌木层、草本层的J值分别由0.71、0.83、0.55提高到0.81、0.89、0.72。火干扰样地比相似林分光照增强, 温度升高, 可溶性养分增多, 适合多种灌木和草本植物入侵, 尤其是阳性植物, 火干扰样地中的灌木层马尾松个体数量增加, 说明低强度地表火可以增加马尾松林生物多样性, 有利于马尾松林的更新。

关键词 马尾松; 物种多样性; 火干扰

中图分类号 S762 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)31-13629-03

Study on the Response of the Species Diversity of *Pinus massoniana* Plantation to Fire Disturbance

FANG Yan (Nanjing Forest Police College, Nanjing, Jiangsu 210046)

Abstract The species diversity of *Pinus massoniana* plantation in control sample plot and fire disturbance sample plot was studied. The species richness indices of all plants in control sample plot were compared. The results showed that the species and individual number of plants in fire disturbance sample plot were both higher than that in control sample plot. The value of uniformity (J) of all the plants in each layer of fire disturbance sample plot increased significantly and J value in crown layer, shrub layer and herb layer increased from 0.71, 0.83 and 0.55 to 0.81, 0.89 and 0.72 resp. The light intensity in fire disturbance sample plot was strengthened than the similar stand. The temperature increased and the soluble nutrients increased. The fire disturbance sample plot was suitable for many species of shrub and herb, especially heliophiles. The individual number of *P. massoniana* in shrub layer of fire disturbance sample plot increased, which indicated that low intensity surface fire could increase the biodiversity of *P. massoniana* forest and it was favorable for renewing *P. massoniana* forest.

Key words *Pinus massoniana*; Species diversity; Fire disturbance

马尾松 (*Pinus massoniana* L.) 是中国松科松属中分布最广的树种, 不仅具有重要的经济价值, 而且作为群落演替中的一个先锋群落, 在森林生态系统恢复过程中能起到先锋作用, 是恢复和保持湿润亚热带地区生态平衡的重要森林类型之一^[1]。马尾松林分布区是我国森林火灾发生最频繁、火灾损失最严重的地区之一。南方各省(区)森林火灾占全国森林火灾总次数的90%, 其中, 云南、广西、广东、湖南、四川、福建、贵州等省每年平均森林火灾次数都在千次以上。这些森林火灾主要发生在马尾松和杉木林分中。火干扰是人为干扰的一部分, 但关于其对生物多样性的影响报道很少。早在1994年, 中国生物多样性行动计划已经提出, 森林火灾是威胁森林生物多样性的因素之一, 林火因周期、强度不同影响生物物种的存活, 也因此影响生物多样性。有不少学者就火干扰对马尾松人工林和天然次生林生物多样性的影响进行过专门研究^[2-4]。笔者以未受火灾干扰的马尾松人工林与火干扰后恢复期的马尾松林为研究对象, 探讨物种多样性的变化规律, 了解森林火灾对生物多样性的影响, 以期为马尾松林火灾后的植被恢复和可持续经营提供理论依据。

1 样地概况与研究方法

1.1 样地设置与调查 试验样地设置在攸县高枳林场, 位于湖南省株洲市, 113°04'~113°43' E, 27°06'~27°04' N, 海拔69~604 m, 山丘岗平地地貌, 主要成土母岩有板页岩、紫砂页岩和第四纪红色粘土等。该区四季分明, 雨水充足, 土壤肥沃, 属中亚热带季风湿润气候常绿阔叶林带, 年平均气温17.8℃, 无霜期292 d, 年降水量1410 mm左右。林场内主要林分种类有杉木人工林、马尾松人工林和马尾松×木针阔混交林, 马尾松约为39年。主要植物种类有:

(1) 乔木层。A, 马尾松 *Pinus massoniana*; B, 黄檀 *Dalbergia hupeana*; C, 檫木 *Sassafras tzumu* Hensl; D, 泡桐 *Paulewnia*

fortunei Schott; E, 枫香 *Liquidambar formosana*; F, 苦槠 *Castanopsis sclerophylla* (Lindl.); G, 木荷 *Schima superba*; H, 樟树 *Gnaphalium camphora*; I, 青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca*; J, 女贞 *Ligustrum lucidum* Sieber; K, 榉树 *Zelkova serrata* Makino; L, 杨梅 *Myrica rubra*; M, 其他。

(2) 灌木层。O, 木 *Loropetalum*; P, 盐肤木 *Rhus chinensis*; Q, 杜鹃 *Rhododendron*; R, 油茶 *Camellia oleifera*; S, 黄栀子 *Carдениa jasminodes*; T, 牡荆 *Mtexas* spp; U, 白栎 *Quercus* spp; V, 葱木 *Aralia chinensis*; W, 山苍子 *Litsea cubeba* (Lour.) Pers; X, 其他。

(3) 草本和藤本层。A₁, 芒萁 *Dicranopteris pedata*; B₁, 凤尾蕨 *Pteris multifida* Poir; C₁, 菟丝子 *Cuscuta chinensis* Lam; D₁, 金樱子 *Rosa laevigata*; E₁, 葛藤 *Pueraria lobata* (Wud) Qwi; F₁, 金银花 *Lonicera japonica*; G₁, 凌霄 *Campsis grandiflora*; H₁, 海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw; I₁, 其他。

2000年冬该林场发生一起低强度的森林地表火, 过火面积超过2000 m²。2000年火后和2006年10月各调查1次, 调查者在2000年过火并自然恢复的马尾松林内, 选择设置2个面积为20 m×30 m的火干扰马尾松林样地(简称干扰样地), 同时选择土壤类型、土壤厚度、坡度、坡向和年龄与火干扰林分相近的不受人为干扰的马尾松林, 同样设置2个20 m×30 m的正常马尾松林样地(简称对照样地)。为了调查林分各层的生物种类变化, 将大样方再分割成6个10 m×10 m的小样方, 对树冠层高于2.5 m者进行每木调查, 记录内容包括树种、株数、高度和胸径等, 灌木层则记录每种灌木的树种、多度和盖度等, 草本层样方面积为1 m×1 m, 每个小样方内设1~2个, 记录各草本植物的种名、盖度和多度等。为了统计方便, 表格的数据用2个干扰和2个对照样地的总和。

1.2 研究方法

1.2.1 物种重要值(P)的计算方法。 P是常用来表示某一

物种在某一群落或层次中的优势程度^[5]。

$$P = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3 \quad (1)$$

1.2.2 物种多样性的计算方法。Geason 丰富度指数(I_{GL})、Shannon-Wener 指数(I_{SW})和Simpson 指数(I_{SP})是目前使用得较为广泛的几种反映某个地段内物种数目多少的多样性指数。Hedou 均匀度(J)主要是用来体现某范围内物种多度的均匀程度。即如果研究样地上物种丰富且种间个体数目分配均匀(各种的个数差不多),则该群落的多样性指数就较高,反之,物种少,种间数目分配又不均匀(各种的个数多寡悬殊),则多样性指数就越低。

(1) Geason 丰富度指数(I_{GL})^[6-7]。

$$I_{GL} = (S - 1) / \ln A \quad (2)$$

式中, S 为物种数; A 为样地面积。

(2) Shannon-Wener 指数(I_{SW})^[6-8]。

$$I_{SW} = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

式中, $P_i = n_i / N$,指第*i*个物种的相对多度; N 为所有的个体数之和; n_i 为第*i*个物种的个体数。

(3) Simpson 指数(I_{SP})^[6-7]。

$$I_{SP} = N(S - 1) / \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1) \quad (4)$$

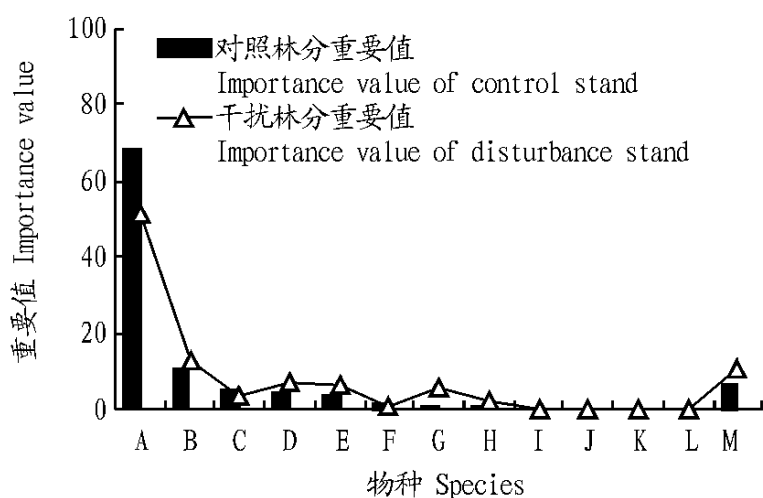
式中, N 为所有的个体数之和; n_i 为第*i*个物种的个体数。

(4) Hedou 均匀度(J)^[6]。

$$J = I_{SW} / \log_2 S \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 对照样地和火干扰样地的物种种类及重要值 由图1可知,对照样地马尾松林乔木层的重要值主要集中在少数物种中,如马尾松、黄檀、檫木、泡桐和枫香,重要值大的前5种



注:A为马尾松;B为黄檀;C为檫木;D为泡桐;E为枫香;F为苦槠;G为木荷;H为樟树;I为青冈栎;J为女贞;K为榉树;L为杨梅;M为其他,重要值排前5位物种占的百分比为90.8%。

Note: A, Pinus massoniana; B, Dalbergia hupeana; C, Sassafras tzumu; D, Paulownia fortunei; E, Liquidambar formosana; F, Castanopsis sclerophylla; G, Schima superba; H, Cinnamomum camphora; I, Cyclobalanopsis glauca; J, Ligustrum lucidum; K, Zelkova serrata; L, Myrica rubra; M, Other. The percentage of importance value in the first 5 species reached 90.8%.

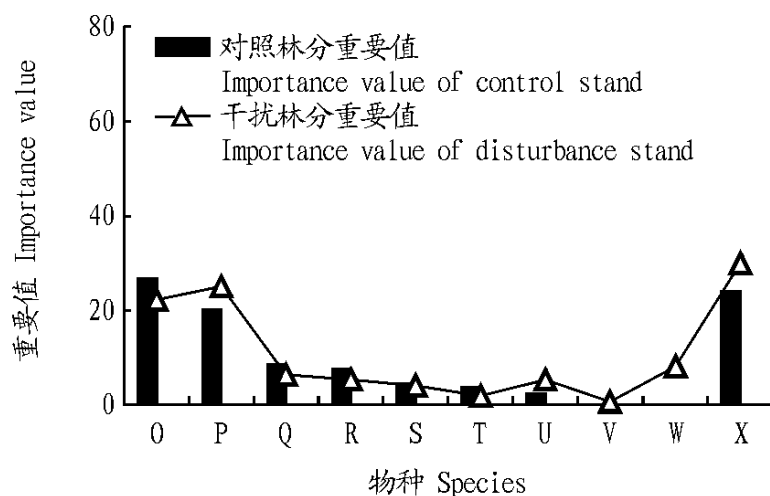
图1 2种林分乔木层物种重要值比较

Fig.1 The comparison of species importance value of 2 kinds of forest stands in arbor layer

植物占90.8%,马尾松的重要值最大为68.1。火干扰样地马尾松的重要值下降到51.4,主要原因是林内条件的转变有利于黄檀(12.6)和木荷(5.4)等树种生长成高大乔木。由于马

尾松曾经受地表火干扰,清除了地表可燃物(枯枝落叶和杂草),减少了林内的病源和虫源,增加了林内光照及养分,有利于马尾松生长,与对照样地马尾松相比冠幅明显要宽,有部分马尾松在自然稀疏的作用下被淘汰。

由图2可知,2种样地灌木层重要值都集中在x木、盐肤木,这两者的重要值占近50%。重要值变化大多不太显著,其中变化最大的是山苍子和白栎,其重要值分别由0.1、2.3上升为8.2、5.4,同时,林内有少量的葱木侵入,说明火烧后的光照、养分等条件有利于它们生长。



注:O为x木;P为盐肤木;Q为杜鹃;R为油茶;S为黄栀子;T为牡荆;U为白栎;V葱木;W为山苍子;X为其他,重要值排前5位物种占的百分比为67.4%。

Note: O, Loropetalum chinense; P, Rhus chinensis; Q, Rhododendron simsii; R, Camellia oleifera; S, Gardenia jasminoides; T, Vitex negundo; U, Quercus fabri; V, Aralia chinensis; W, Litsea cubeba; X, Other. The percentage of importance value in the first 5 species reached 67.4%.

图2 2种林分灌木层物种重要值比较

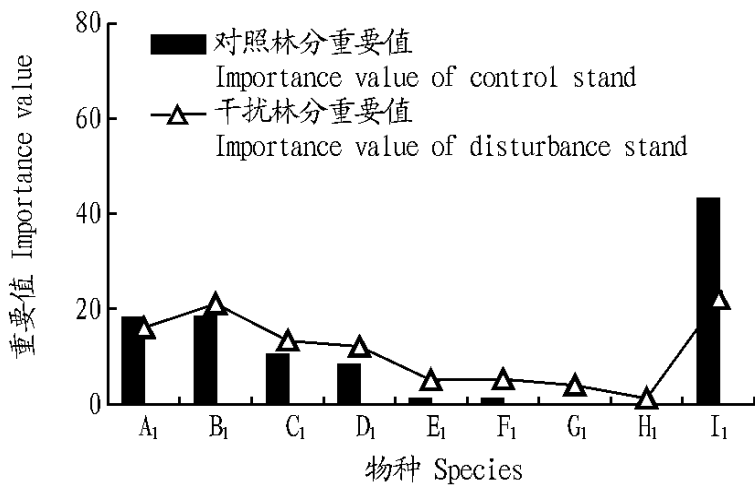
Fig.2 The comparison of species importance value of 2 kinds of forest stands in shrub layer

由图3可知,对照样地内草本层凤尾蕨重要值比火干扰样地大,菟丝子、金樱子、葛藤和金银花的重要值也有所增加,凌霄和海金沙侵入了火烧迹地,说明火烧为海金沙等植物的侵入创造了条件。

2.2 对照样地和火干扰样地的物种多样性分析

2.2.1 对照样地的物种多样性。由表1可知,2块对照样地中合计有74种植物,共1078株,对照样方内所有植物的物种丰富度指数, I_{GL} 为10.30, I_{SW} 为3.01, I_{SP} 为11.21, J 为0.74。就植物种数而言,灌木层种数最多,为58种,占78.3%,树冠层和草本层较少,均为11种,只占21.7%。就个体数而言,灌木层的个体数最多,达533株,约占总数的50.0%,冠层52株(其中马尾松38株),可见,冠层不但种数少,而且个体数也少,所以物种多样性指数及均匀度都低,其 I_{GL} 为1.41, I_{SW} 为1.83, J 为0.71。草本层个体数较多,但优势种明显,种间个体分布极不均匀,所以 I_{SW} 和 J 值都较低,分别为2.55和0.55。灌木层个体分布相对草本层均匀, $I_{C_{SW}}$ 和 J 值分别为3.20和0.83。

2.2.2 火干扰样地的物种多样性。由表1可知,火干扰样地内植物种数有87种,为对照样地的118%,个体总数1171株,为正常林的108%。很明显,干扰样地内物种和植物个体数目均增加,火干扰样地所有植物的 I_{GL} 为12.13, I_{SW} 为5.61,



注:A₁为芒萁;B₁为凤尾蕨;C₁为菟丝子;D₁为金樱子;E₁为葛藤;F₁为金银花;G₁为凌霄;H₁为海金沙;I₁为其他,重要值排名前5位物种占的百分比为67.8%。

Note:A₁, *Dicranopteris pedata*; B₁, *Pteris multifida*; C₁, *Cuscuta chinensis*; D₁, *Rosa laevigata*; E₁, *Pueraria lobata*; F₁, *Lonicera japonica*; G₁, *Campsis grandiflora*; H₁, *Lygodium japonicum*; I₁, Other. The percentage of importance value in the first 5 species reached 67.8%.

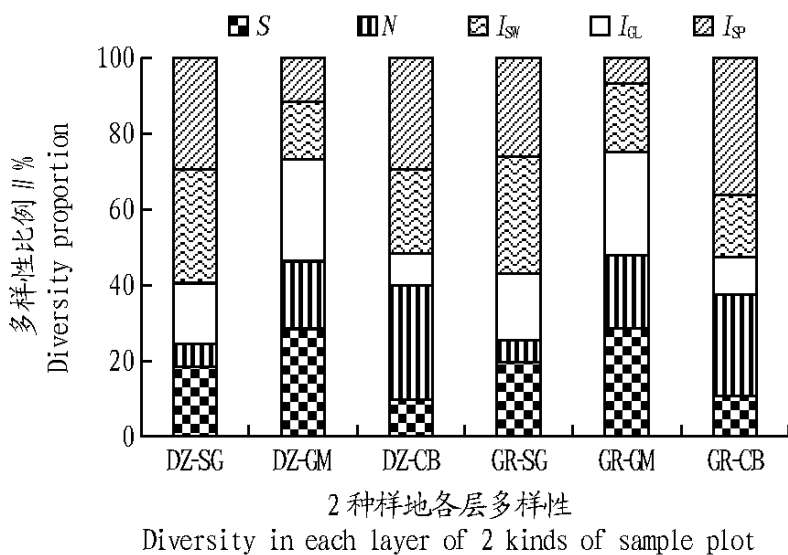
图3 2种林分草本及藤本层物种重要值比较

Fig 3 The comparison of species importance value of 2 kinds of forest stands in herb layer and vine layer

表1 对照样地与火干扰样地物种多样性

Table 1 The species diversity in control sample plot and fire disturbance sample plot

样地类型 Types of sample plot	植物层次 Plant layer	物种数 Species number	个体总数 Total number of individuals	物种多样性指数 Species diversity index			均匀度 Uniformity J
				I _{GL}	I _{SW}	I _{SP}	
对照样地 Control sample plot	树冠层	11	52	1.41	1.83	2.11	0.71
	灌木层	58	533	8.04	3.20	2.81	0.83
	草本及藤本	11	493	1.41	2.55	4.00	0.55
对照样地所有植物		74	1078	10.30	3.01	11.21	0.74
火干扰样地 Fire disturbance sample plot	树冠层	14	55	1.83	3.02	4.82	0.81
	灌木层	63	573	8.75	5.52	3.77	0.89
	草本及藤本	16	543	2.12	3.40	14.08	0.72
干扰样地所有植物		87	1171	12.13	5.61	26.13	0.84



注:DZ-SG为对照样地树冠层;DZ-GM为对照样地灌木层;DZ-CB为对照样地草本及藤本;GR-SG为干扰样地树冠层;GR-GM为干扰样地灌木层;GR-CB为干扰样地草本及藤本。

Note:DZ-SG stands for crown layer in control sample plot; DZ-GM stands for shrub layer in control sample plot; DZ-CB stands for herb layer and vine layer in control sample plot; GR-SG stands for shrub layer in disturbance sample plot; GR-GM stands for shrub layer in disturbance sample plot; GR-CB stands for herb layer and vine layer in disturbance sample plot.

图4 物种多样性在不同样地不同层次的分配

Fig 4 Distribution of species diversity in different layers of different sample plots

配差异不明显,说明低强度的地表火对马尾松林各层间物

I_{SP}为26.13, J为0.84,均高出对照样地。就物种数而言,乔、灌、草各层都有不同程度的增加,草本层增加最多,增加10%,在火的作用下,火干扰样地比相似林分光照增强,温度增加,可溶性养分增多,适合多种灌木和草本植物入侵,尤其是阳性植物。从以上分析可知,低强度的地表火干扰可以增加群落物种多样性和生态系统复杂性,对马尾松群落正向演替有促进作用,与有关学者研究结果一致^[9-10]。但是火灾后短期内,生物多样性有下降的现象,尤其是草本层下降明显。

2.2.3 物种多样性的相对值。分别求出对照样地和火干扰样地的树冠层、灌木层和草本及藤本的物种多样性指数占各层物种多样性指数总和的百分比(图4)。

由图4可知,火干扰样地树冠层的物种数比对照样地略有增加,总株数、I_{GL}、I_{SW}、I_{SP}变化不大,相对稳定。2种样地灌木层多样性变化最大的是Simpson指数,即I_{SP},对照样地高达31.50%,而火干扰样地只有16.67%,前者几乎是后者的2倍。其次,草本层的种数(S)、个体数(N)和I_{GL}的变化不明显,但是,火干扰样地I_{SW}比对照样地少,火干扰样地I_{SP}比对照样地大。综观树冠层、灌木层和草本层多样性指数的分配,可以发现对照和火干扰样地马尾松林的多样性指数分

种数和各物种个体数量的影响不显著。

2.2.4 均匀度分析。由表1可知,火干扰样地各层和所有植物的均匀度值显著提高,树冠层、灌木层、草本层的J值分别由0.71、0.83、0.55提高到0.81、0.89、0.72,表明低强度的地表火可以改善林地环境,利于优势木的生长,淘汰劣势木,使得林分各树种的分布更加合理。

3 结论与讨论

(1) 低强度地表火可以使马尾松人工林生物多样性增加。从以上分析可知,低强度的地表火对马尾松人工林的干扰虽然在短期内(1~2年)使群落的生物多样性下降,经过5年的自然恢复,群落物种多样性增加。但是,如果高强度火会严重破坏林分的结构,群落就会发生逆行演替而难以恢复。对于火强度增大到什么程度(火强度临界值),火干扰作用超过马尾松人工林生态系统自身的调节能力有待进一步研究。

(2) 低强度的火烧迹地阳性植物侵入速度快。如冠层的泡桐、草本层的阳性植物菟丝子在火烧后生长快,泡桐很快可以由灌层长大升入乔木层,火烧迹地的生态环境也有利于菟丝子的生长发育。

(3) 火干扰对马尾松人工林中木本植物多样性影响不显著,但对马尾松林的稳定性和演替更新有促进作用。马尾松

HA101 载体比 LBA4404/PBI21 效率高达 6 倍^[26-27]。到目前为止,表达 B 基因的树种有杨树、苹果、核桃和云杉等,在松属品种上有落叶松、花旗松、火炬松^[27-28]。

另外,已有多种蛋白酶抑制剂基因或 cDNA 克隆,并得到 1 批转基因植株,转基因植株表现出好的抗虫效果,尤其是丝氨酸类蛋白酶抑制剂中豇豆胰蛋白酶抑制剂(CPT)和马铃薯蛋白酶抑制剂(P)。豇豆胰蛋白酶抑制剂具有广抗虫性^[29],纯化的 CPT 对鳞翅目、鞘翅目及直翅目的害虫有毒性。

一般来说,树木病害大多是多基因抗性,这给基因工程带来一定难度;其次是大多数树木病害的分子遗传学的机理不十分清楚,这使该项工作难度加大。无论如何,只要加强这方面的工作,特别是寻找抗菌基因,不仅从植物和病原菌中找,还可从其他生物中找,相信在不久的将来一定能培育出树木抗性重组新品种。松树的抗性基因工程也会同样随着林木基因工程技术的发展而发展,也一定有着各种抗性基因的新品种被运用到林业实践中。

参考文献

- [1] 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.
- [2] HOFF R J, MCDONALD G I. Variation of virulence of white pine blister rust [J]. *For J For Pathol*, 1993, 23:103-109.
- [3] TAINIER F H, ANDERSON R L. Twenty-six new pine hosts of fusiform rust [J]. *Hort Disease*, 1993, 77:17-20.
- [4] 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.
- [5] ADES P K, SIMPSON J A. Selection for resistance to *Ditistroma* [Septospora (dmg) Mordet] needle blight in *Pinus radiata* [J]. *New For*, 1990, 4:27-35.
- [6] 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]. 文殊出版社,1997:168-274.
- [7] 高景斌,徐六一,户田忠雄. 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.
- [8] 蔡卫兵,席启俊,户田忠雄. 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.
- [9] 徐福元,席克,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.
- [10] 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.

(上接第13631页)

为阳性树种,在盖度较大的情况下更新不良,火干扰样地中的灌木层马尾松个体数量增加,说明低强度地表火有利于马尾松林的更新。

参考文献

- [1] 林业部林业区划办公室杉木、马尾松树种区域研究协作组. 主要树种种子区划研究[M]. 北京:中国林业出版社,1988:163-224.
- [2] 孔国辉,莫江明. 人为干扰对鼎湖山马尾松林种群动态的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2002,10(3):193-200.
- [3] MOJ M, BROWNS, LENART M, et al. Nutrient dynamics of a human impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China [J]. *Biologica*, 1995, 27(3):290-304.

- [11] 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.
- [12] 户田忠雄,西村庆二. 关于柳杉柳蝇抗性育种的研究[J]. 林木育种,1993(11):37-88.
- [13] HODGE G R, SCHMIDT R A, WHITE, T L. Substantial realized gains from selection of fusiform rust-free trees in highly infected stands of slash pine [J]. *SJAF*, 1990, 14:143-146.
- [14] 黄金水. 不同地理种源林麻黄对星天牛抗性的研究[J]. 林业科学研究,1993,6(专刊):33-37.
- [15] 张思光,刘荣光. 宁夏防护林天牛危害调查及林分结构配置[J]. 西北林学院学报,1995,10(2):16.
- [16] 高汉忠,杨零彦,魏佳宁. 树木对两种天牛抗性的调查[J]. 西北林学院学报,1997,12(5):42.
- [17] 谈家金,杨荣铮,吴慧平. 不同地理种群的松材线虫对马尾松的致病力差异[J]. 植物检疫,2000,14(6):324-325.
- [18] 蔡卫兵,徐六一,席启俊,等. 马尾松松材线虫抗性育种技术开发——一次接种测定结构及其成果的早期应用[J]. 安徽农业科技,2005(2):248-249.
- [19] 徐六一,高景斌,蔡卫兵,等. 松属树种松材线虫抗性变异的确认,第二届项目技术成果发表论文集[C]. 安徽省抗性育种中心印刷,2005.
- [20] 赵振东,胡樾萼,李冬梅,等. 抗松材线虫病马尾松种源化学成分与抗性机理研究 第 一 报 [J]. 林产化学与工业,2001,21(3):52-58.
- [21] 葛明宏,徐福元,张培,等. 激素、钙、水杨酸和铵诱导马尾松、黑松抗松材线虫病的研究[J]. 江苏林业科技,1999,26(1):7-12.
- [22] 徐福元,席克,徐刚,等. 不同龄级马尾松对松材线虫病抗性的探讨[J]. 南京林业大学学报,1994,18(3):27-33.
- [23] 王媛,杨红玉. 植物的抗病性及其分子机制[J]. 安徽农学通报,2006,12(9):47-50.
- [24] 余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 2 版. 北京:科学出版社,1999:770.
- [25] KLHNER K W, ELIIS D D, MCCOWN B H, et al. Field evaluation of transgenic poplar expressing a *Bacillus thuringiensis* *cry1A(a)* δ -endotoxin gene against forest tent caterpillar (Lepidoptera: Lasiocampidae) and gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) following winter dormancy [J]. *Environmental Entomology*, 1995, 24:1358-1364.
- [26] DOWD P F, LAGRIMIN L M, HERMS D A. Differential leaf resistance to insects of transgenic sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) expression tobacco anionic peroxidase [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1998, 54:712-720.
- [27] WANG J G, WANG H, GUERRA D J. Expression of a synthetic antifreeze protein in potato reduces electrolyte release at freezing temperatures [J]. *Transgenic Research*, 1996, 5:289-301.
- [28] DEVER M, CARSONS, NOLAN M, et al. Randomly amplified polymorphic DNA marks tightly linked to a gene for resistance to white pine blister rust in sugar pine [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1995, 92:2066-2070.
- [29] 黄自然,郑庭辉,梁怡章,等. 柞蚕抗菌肽的抑菌效应[J]. 科学通报,1986(14):1107-1109.

- [4] 杨利民,韩梅,李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J]. 植物生态学报,2001,25(1):110-114.
- [5] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [6] 马克平. 生物多样性的测度方法[C]// 钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994:141-165.
- [7] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样指数[J]. 生态学报,1995,15(3):268-277.
- [8] BAZZAF A. Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois [J]. *Ecology*, 1975, 56:485-488.
- [9] 黄建辉. 生态系统内的物种多样性对稳定性的影响[C]// 钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994:178-191.
- [10] 陈章和. 几个森林群落的结构分析[C]// 中国科学院华南植物研究所集刊,1992:58-71.