

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第8期 Vol.33 No.8 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 8 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态系统研究专题

- 城市生态系统:演变、服务与评价——“城市生态系统研究”专题序言 王效科 (2321)
- 城市生态景观建设的指导原则和评价指标 孙然好,陈爱莲,李 芬,等 (2322)
- 城市绿色空间格局的定量化方法研究进展 陶 宇,李 锋,王如松,等 (2330)
- 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例 赵 丹,李 锋,王如松 (2343)
- 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析 董仁才,苟亚青,刘 昕 (2350)
- 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 柳 敏,王如松,蒋 莹,等 (2358)
- 北京城区道路沉积物污染特性 任玉芬,王效科,欧阳志云,等 (2365)
- 绿地格局对城市地表热环境的调节功能 陈爱莲,孙然好,陈利顶 (2372)
- 北京城区气传花粉季节分布特征 孟 龄,王效科,欧阳志云,等 (2381)

个体与基础生态

- 三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响 徐 翠,张林波,杜加强,等 (2388)
- 土壤砷植物暴露途径的土壤因子模拟 线 郁,王美娥,陈卫平 (2400)
- 不同寄主植物对马铃薯甲虫的引诱作用 李 超,程登发,郭文超,等 (2410)
- 蒙古栎、白桦根系分解及养分动态 靳贝贝,国庆喜 (2416)
- 干旱和坡向互作对栓皮栎和侧柏生长的影响 王 林,冯锦霞,王双霞,等 (2425)
- 不同郁闭度下胸高直径对杉木冠幅特征因子的影响 符利勇,孙 华,张会儒,等 (2434)
- 驯化温度与急性变温对南方鲢幼鱼皮肤呼吸代谢的影响 鲜雪梅,曹振东,付世建 (2444)

种群、群落和生态系统

- 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局 何艳华,闫 明,张钦弟,等 (2452)
- 玉龙雪山白水 1 号冰川退缩迹地的植被演替 常 丽,何元庆,杨太保,等 (2463)
- 五花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响 王 刚,杨文斌,王国祥,等 (2474)
- 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响 何友均,梁星云,覃 林,等 (2484)
- 入侵植物黄顶菊生长、再生能力对模拟天敌危害的响应 王楠楠,皇甫超河,李玉浸,等 (2496)
- 小兴安岭白桦次生林叶面积指数的估测 刘志理,金光泽 (2505)
- 草地植物群落最优分类数的确定——以黄河三角洲为例 袁 秀,马克明,王 德 (2514)
- 多毛类底栖动物在莱州湾生态环境评价中的应用 张 莹,李少文,吕振波,等 (2522)
- 马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性 杨大星,杨茂发,徐 进,等 (2531)

景观、区域和全球生态

- 极端干旱区大气边界层厚度时间演变及其与地表能量平衡的关系 张 杰,张 强,唐从国 (2545)

基于多源遥感数据的景观格局及预测研究..... 赵永华,贾 夏,刘建朝,等 (2556)

城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应.....

..... 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等 (2565)

资源与产业生态

碳汇目标下农户森林经营最优决策及碳汇供给能力——基于浙江和江西两省调查.....

..... 朱 臻,沈月琴,吴伟光,等 (2577)

基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究..... 刘国顺,常 栋,叶协锋,等 (2586)

春玉米最大叶面积指数的确定方法及其应用..... 麻雪艳,周广胜 (2596)

城乡与社会生态

广州市常见行道树种叶片表面形态与滞尘能力 刘 璐,管东生,陈永勤 (2604)

研究简报

桔梗种子萌发对低温、干旱及互作胁迫的响应..... 刘自刚,沈 冰,张 雁 (2615)

基质养分对寄生植物南方菟丝子生长的影响 张 静,李钧敏,闫 明 (2623)

学术信息与动态

人类活动对森林林冠的影响——第六届国际林冠学大会述评..... 宋 亮,刘文耀 (2632)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-04



封面图说: 互花米草近景——互花米草是多年生高大禾本科植物,植株健壮而挺拔,平均株高约 1.5m,最高可达 3.5m,茎秆直径可达 1cm 以上。原产于大西洋沿岸,是一种适应海滩潮间带生长的耐盐、耐淹植物。我国于 1979 年开始引入,原意主要是用于保滩护堤、促淤造陆和改良土壤等。但是,近年来,互花米草迅速扩散,在一些区域里,已经完全郁闭,形成了单优种群,严重排挤了本土物种的生长,并且还在以指数增长的速度逐年增加,对海岸湿地土著物种和迁徙鸟类造成的危害日益严重,已经列为必须严格控制的有害外来入侵物种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208261204

何友均, 梁星云, 覃林, 李智勇, 邵梅香, 谭玲. 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响. 生态学报, 2013, 33(8): 2484-2495.

He Y J, Liang X Y, Qin L, Li Z Y, Shao M X, Tan L. Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(8): 2484-2495.

南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期 对群落特征和土壤性质的影响

何友均¹, 梁星云², 覃林^{2,*}, 李智勇¹, 邵梅香², 谭玲²

(1. 中国林业科学研究院林业科技信息研究所, 北京 100091; 2. 广西大学林学院, 南宁 530004)

摘要:借鉴近自然森林管理理念,用阔叶林或针阔混交林替代南亚热带大面积人工针叶纯林已被认为是一种有效的森林培育方式。1993 年,在位于广西凭祥的中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波试验场营造了马尾松和杉木纯林。为了提高针叶纯林的生产力和维护生态平衡,2007—2008 年间,运用近自然森林培育技术,分别在间伐后的马尾松和杉木纯林中套种等量混合的当地优质乡土树种红椎(*Castanopsis hystrix*)和香梓楠(*Michelia gioii*)苗木,套种密度均为 405 株/hm²(以下简称“马尾松近自然林”、“杉木近自然林”)。选择邻近地块相同林龄、相似立地条件的未经改造的马尾松、杉木人工纯林作为对照(以下简称“未改造纯林”),研究了马尾松和杉木人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响,以期马尾松和杉木人工林的可持续经营提供科学依据。研究结果表明:(1)近自然林中马尾松和杉木的密度、胸高断面面积均显著低于各自未改造纯林($P < 0.05$),但其平均胸径均高于各自未改造纯林,其中马尾松达显著差异($P < 0.05$)。(2)近自然林成年树($DBH \geq 10$ cm)的林木株数少于未改造纯林,树种仍以马尾松和杉木占据绝对优势地位,而近自然林小树($5 \text{ cm} \leq DBH < 10$ cm)和幼树($1 \text{ cm} \leq DBH < 5$ cm)的物种数、株数均多于未改造纯林,套种的红椎和香梓楠已经成为近自然林中重要值最大的幼树物种,红椎和香梓楠在马尾松近自然林中的生长状况优于杉木近自然林。(3)马尾松近自然林灌木层和草本层的物种丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数与其未改造纯林均无显著差异;杉木近自然林灌木层的丰富度指数和草本层的 Pielou 指数显著高于其未改造纯林($P < 0.05$),其他指数则没有显著差异。(4)马尾松和杉木近自然林的土壤容重、总孔隙度、全磷、全氮、全钾和速效钾与各自未改造纯林没有显著差异,但马尾松近自然林的土壤有机碳含量和 pH 值显著低于其未改造纯林($P < 0.05$),杉木近自然林的速效磷含量显著低于其未改造纯林($P < 0.05$)。

关键词:人工针叶纯林;近自然改造;群落结构;物种多样性;土壤性质;南亚热带

Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China

HE Youjun¹, LIANG Xingyun², QIN Lin^{2,*}, LI Zhiyong¹, SHAO Meixiang², TAN Ling²

¹ Research Institute of Forestry Policy and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

² College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Mixed conifer-broadleaved plantations within a framework of close-to-nature forest management can be a good silvicultural alternative to large-scale monocultures of coniferous plantations in southern subtropical China. In 1993, monoculture stands of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* were established on the Fubo Forest Farm, which is

基金项目:林业公益性行业科研专项(201004016 和 200904005);国家自然科学基金(31170593);引进国际先进林业科学技术项目(2012-4-69)

收稿日期:2012-08-26; **修订日期:**2013-02-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nilniq@gxu.edu.cn

located in Pingxiang County of Guangxi. To improve the productivity of the coniferous plantation forest monocultures and maintain their ecological balance, close-to-nature silvicultural technology was employed in 2007—2008. In this process, the native species *Castanopsis hystrix* and *Michelia gioii* were interplanted in thinned *P. massoniana* and *C. lanceolata* stands (hereinafter referred to as the *P. massoniana* close-to-nature forest and the *C. lanceolata* close-to-nature forest), with a density of 405 trees/hm². In this study, *P. massoniana* and *C. lanceolata* plantation forest monocultures based on similarities in topography, soil texture, stand age, and management history were chosen as the reference to study the effects of close-to-nature transformation management in the early stages on the forest community structure and biodiversity, and soil properties, with the expectation of providing scientific reference points and a basis for the sustainable management of *P. massoniana* and *C. lanceolata* plantation forests. The results showed that: (1) The stand density and basal area of the *P. massoniana* and *C. lanceolata* close-to-nature forests were both significantly lower than those in corresponding plantation forest monocultures ($P < 0.05$), but their average DBH was higher than in the plantation forest monocultures and the average DBH of *P. massoniana* was significantly different ($P < 0.05$). (2) The stem number of adult trees ($DBH \geq 10$ cm) of the close-to-nature forests was lower than that in the plantation forest monocultures, and *P. massoniana* and *C. lanceolata* were still the dominant species, while the tree number and species number of trees ($5 \leq DBH < 10$ cm) and young trees ($1 \leq DBH < 5$ cm) of the close-to-nature forests were both higher than those in the plantation forest monocultures. The inter-planted *C. hystrix* and *M. gioii* turned out to be the young tree species with the highest importance value, and they grew better in the *P. massoniana* close-to-nature forest than in the *C. lanceolata* close-to-nature forest. (3) Species richness index, Shannon-Wiener index, Simpson index and Pielou index in the shrub and herbaceous layers of the *P. massoniana* close-to-nature forest were not significantly different from those in the *P. massoniana* plantation forest monocultures. The species richness index of the shrub layer and the Pielou index of the herbaceous layer of the *C. lanceolata* close-to-nature forest were significantly different from those in the *C. lanceolata* plantation forest monocultures ($P < 0.05$) while the other indexes showed no significant differences. (4) Bulk density and total porosity in the soil profile, and soil total P, total N, total K and available K all showed no significant differences between the close-to-nature forests and the plantation forest monocultures, but the organic carbon content and pH value of the *P. massoniana* close-to-nature forest were significantly lower than those in the plantation forest monocultures ($P < 0.05$), while soil available P in the *C. lanceolata* close-to-nature forest was significantly lower than in the plantation forest monocultures ($P < 0.05$).

Key Words: Coniferous plantation monocultures; close-to-nature transformation; community structure; species diversity; soil properties; southern subtropical China

马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林是我国南方面积最大的两种人工林^[1],为缓解木材需求压力做出了重要贡献。然而长期大面积同龄纯林连栽导致生物多样性降低、生产力下降^[2]、地力衰退^[3-4]、病虫害严重^[5]等严重生态问题。许多学者借鉴近自然林业理论、技术和方法^[6],试图来解决大面积针叶纯林带来的生态环境问题,从而达到增加生物多样性,改善林分结构和提高土壤肥力的目的。

近自然林业由德国林学家 Karl Gayer 于 19 世纪末提出,近自然林业并不是要求回归到天然的森林类型,而是尽可能使林分建立、抚育、采伐的方式同潜在的天然森林植被的自然关系相接近,其应用于森林经营已有 100 余年的历史^[7-9],并且取得了良好效果^[7,10-12]。近自然改造以潜在的天然森林植被为参照,通过树种调整、结构调整、保护林下植物与天然更新等一系列抚育经营措施,把人工针叶纯林向生长能力、林分结构和生态服务功能均有提高的森林生态系统转变^[13]。应用近自然林业理念来改造我国大面积的人工纯林,最终实现人工林可持续经营已得广泛实践^[13-15]。有研究表明,对人工针叶林进行近自然改造后,可以增加物种多样性,改善林分结构并促使其向天然次生林方向演化^[16-18]。但也有研究发现,小兴安岭落叶松人工纯林近自然改造后仅提高了草本植物的多样性,木本植物的多样性变化情况则有待深入研究^[19],这可能与不同树种的人

工林特性有关。然而,对于我国南方面积最大的马尾松和杉木人工林,近自然改造早期对森林群落特征和土壤性质影响的研究却鲜见报道。因此,为了评估近自然改造对人工针叶纯林生态系统的影响效果,本文以中国林业科学研究院热带林业实验中心的马尾松和杉木人工林为研究对象,对近自然改造林和未改造纯林早期的植物群落结构、物种多样性和土壤理化性质进行了对比研究,以为马尾松和杉木人工纯林的近自然改造提供科学依据和决策参考。

1 研究地区概况

研究地区位于广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波试验场(106°51′—106°53′E, 22°02′—22°04′N)。该地区属亚热带季风型半湿润-湿润气候,干湿季节明显(10月至翌年3月为干季,4—9月为湿季)。年均气温20.5—21.7℃,≥10℃年积温6 000—7 600℃。年均降雨量1 200—1 500 mm,年均蒸发量1 261—1 388 mm,空气相对湿度80%—84%。地貌类型以低山丘陵为主,海拔430—680 m,地带性土壤为花岗岩发育的山地红壤,土层厚度>80 cm, pH 值为4.8—5.5^[20]。

1993年,在伏波试验场营造马尾松和杉木人工纯林。为了建立系统稳定、功能强、产量高的近自然森林生态系统,通过实验设计对其进行了近自然改造,具体措施为:2007年第3季度至第4季度,进行林分作业设计,将所有林木分为目标树、干扰树、特别(生态)目标树和一般林木4种类型,并进行永久性标记;2007年第4季度至2008年第1季度,采伐所有标记出的干扰树,并按用材需要和设计的保留密度(表1)采伐部分一般林木,适当清理砍伐剩余物,随后进行块状整地,种植坑规格为60 cm×60 cm×30 cm(明坑),如种植坑周围杂灌较茂密,则先砍除其周围约1 m²的杂灌;2008年第1至3季度进行林下植苗(容器苗)更新作业,在间伐后的马尾松和杉木纯林中均套种当地优质乡土树种红椎(*Castanopsis hystrix*)和香樟(*Michelia gioii*)(以下简称“马尾松近自然林”、“杉木近自然林”),二者的套种密度均为405株/hm²,先按造林面积估算两种植苗的用苗量,将两种苗木等量混合后,随机取其中苗木运到造林地种植;2008年第3季度至2010年第4季度进行幼林抚育,采取苗木周边局部铲草方法,砍除更新幼树周边约1 m见方范围内的杂草灌木,以不影响幼树生长为度。选择邻近地块相同林龄、相似立地条件的未经改造的马尾松、杉木人工纯林作为对照(以下简称“未改造纯林”)。2011年开展野外调查时,马尾松林下植被主要有猪肚木(*Canthium horridum*)、山苍子(*Litsea cubeba*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、鸭脚木(*Schefflera minutistellata*)、弓果黍(*Cyrtococcum patens*)、蔓生莠竹(*Microstegium fasciculatum*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等,杉木林下植被主要有毛茛(*Melastoma sanguineum*)、方叶五月茶(*Antidesma ghaesembilla*)、半边旗(*Pteris semipinnata*)、弓果黍、粽叶芦(*Thysanolaena latifolia*)及扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum*)等。林地概况和近自然改造指标如表1所示。

2 研究方法

2.1 样地设置及数据调查

2011年1月,在改造后的马尾松、杉木近自然林,以及作为对照的未改造马尾松、杉木人工纯林4种林分中,分别设置9块20 m×20 m的样地(上、中和下坡各设3块),对各样地内胸径大于1 cm的木本植物进行每木调查,分别测量其树高和胸径。在每块样地内沿对角线设置3个2 m×2 m的小样方作为灌木样方,设置3个1 m×1 m的小样方作为草本样方,调查并记录小样方内灌木层和草本层植物的种类、个体数、高度及其盖度等。同时记录样地的海拔、坡向和坡度等环境因子(表1)。

在每个样地内,按上、中、下分别挖取3个土壤剖面,并依0—20 cm、20—40 cm和40—60 cm的层次采集土壤样品,并将同层次土壤样品按相同质量比充分混合后,取少量土样装入布袋内带回实验室。样品经风干后粉碎,挑去植物细根后过0.25 mm孔径的土筛,密封贮藏,备测。

土壤理化性质测定:土壤容重与总孔隙度等物理性质采用环刀法取样测定。土壤pH值采用pH计法;土壤有机碳采用重铬酸钾容量法;全氮采用开式消煮法;全磷采用NaOH熔融法;全钾采用钼锑抗比色法;速效磷用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法;速效钾用火焰光度法。

表 1 林地概况及近自然改造指标

Table 1 Summary for sites and indexes of close-to-nature transformation forests

林分类型 Forest types	海拔 Altitude/m	坡向 Aspect	坡度 Slope gradient /(°)	密度 Density /(株/hm ²)	目标树数量 Number of target tree (株/hm ²)	套种密度 Interplanting density /(株/hm ²)
马尾松未改造纯林 <i>Pinus massoniana</i> plantation forest monocultures	423—455	西南 Southwestern	34 ~ 36	795—1221		
马尾松近自然林 <i>Pinus massoniana</i> close-to-nature forest	375—425	西 Western	24—32	225—525	120—300	810
杉木未改造纯林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> plantation forest monocultures	378—400	西南 Southwestern	36—40	1171—1895		
杉木近自然林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> close-to-nature forest	357—390	西南 Southwestern	20—36	300—600	150—300	810

在近自然林中,红椎和香樟楠的套种密度均为 405 株/hm²,共 810 株/hm²

2.2 数据统计分析

对所有胸径大于 1 cm 的林木按成年树($DBH \geq 10$ cm)、小树($5 \text{ cm} \leq DBH < 10$ cm)和幼树($1 \text{ cm} \leq DBH < 5$ cm)进行分级^[21],分析不同龄级林木植物的物种组成及其重要值。对植被进行 α 多样性分析,采用物种丰富度(S)、Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 优势度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(E),计算公式如下:

重要值 = 相对频度 + 相对密度 + 相对盖度

物种丰富度 S = 样方内物种总数

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

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$E = H' / \ln S$$

式中,重要值的取值范围为 0—300,相对频度为某物种在全部样方中出现的频度与所有物种出现的频度之和的比例;乔木的相对盖度用林木基盖度(即胸高断面积)表示; S 为物种总数; P_i 为属于种 i 的个体在全部个体中的比例。

对马尾松、杉木近自然林及其未改造纯林的植被、土壤性质进行单因素方差分析,并对均值进行多重比较(Fisher's LSD 方法)。数据处理采用 Excel 2007 及 R-2.15.0 软件。

3 结果与分析

3.1 植物群落结构

3.1.1 物种组成

由表 2 可知,本次调查木本植物物种数共有 75 种,在马尾松近自然林中有 43 种,马尾松未改造纯林 27 种,杉木近自然林 47 种,杉木未改造纯林 25 种,马尾松和杉木近自然林分别比各自未改造纯林多 16 种(59.3%)和 22 种(81.5%)。成年树在近自然林中的重要值(马尾松 271.43、杉木 254.92)略低于未改造纯林(马尾松 273.79、杉木 300.00),彼此之间的差值分别为马尾松 2.36(0.86%)和杉木 45.08(15.03%);小树的物种数在近自然林中多于未改造纯林,在马尾松近自然林里出现了红枝蒲桃(*Syzygium rehderianum*)、大叶算盘子(*Glochidion macrophyllum*)和山苍子等乡土树种,而其未改造马尾松纯林中没有小树,杉木近自然林中则比其未改造纯林多出现了山乌柏、海南蒲桃(*Syzygium hainanense*)、山芝麻(*Helicteres augustifolia*)等;幼

表 2 不同龄级木本植物组成及其重要值

Table 2 Species composition and importance value of woody plants under different age class with DBH

龄级 Age class with DBH	物种 Species	林分类型 Forest types			
		马尾松未改造纯林 <i>Pinus massoniana</i> plantation forest monocultures	马尾松近自然林 <i>Pinus massoniana</i> close-to-nature forest	杉木未改造纯林 <i>Cunninghamia</i> <i>lanceolata</i> plantation forest monocultures	杉木近自然林 <i>Cunninghamia</i> <i>lanceolata</i> close-to-nature forest
成年树 Adult tree (DBH ≥ 10 cm)	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	273.79	271.43		
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	26.21		300.00	254.92
	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>				22.62
	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>			22.46	
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>		28.57		
小树 Arboret (5 cm ≤ DBH < 10 cm)	红枝蒲桃 <i>Syzygium rehderianum</i>		119.84		
	大叶算盘子 <i>Glochidion acrophyllum</i>	110.82			
	山苍子 <i>Litsea cubeba</i>		69.35		
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>			246.14	131.76
	山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>				67.90
	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>				53.33
	山芝麻 <i>Helicteres augustifolia</i>				47.01
	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>			53.86	
幼树 Young tree (1 cm ≤ DBH < 5 cm)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	55.59	4.88	54.85	
	猪肚木 <i>Canthium horridum</i>	41.54	6.21		
	山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	35.68	45.07		24.29
	鸭脚木 <i>Schefflera minutistellata</i>	31.19			34.55
	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	26.26			
	三叉苦 <i>Melicope pteleifolia</i>	17.50			
	方叶五月茶 <i>Antidesma ghaesembilla</i>	16.79		84.30	10.70
	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	14.00			14.11
	毛黄肉楠 <i>Actinodaphne pilosa</i>	12.39			
	华南毛柃 <i>Eurya ciliate</i>	11.94			
	榎木 <i>Aralia elata</i>	11.22	6.81		
	黄毛榕 <i>Ficus esquiroliana</i>	9.49			
	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	8.26	7.52		7.94
	水锦树 <i>Wendlandia uvarifolia</i>	8.15			
	香梓楠 <i>Michelia gioii</i>		74.26		48.45
	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>		50.06		101.70
	木油桐 <i>Vernicia Montana</i>		29.18		11.39
	大叶算盘子 <i>Glochidion macrophyllum</i>	22.04			
	格木 <i>Erythrophleum fordii</i>		13.12		
	山油麻 <i>Trema cannabina</i> var. <i>dielsiana</i>	11.21			
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>		6.81		
	毛桐 <i>Mallotus barbatius</i>		6.29		
	余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i>		5.99		
	红柄山麻杆 <i>Alchornea trevioides</i>		5.37		
	灰毛大青 <i>Clerodendrum canescens</i>	5.18			
	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>				10.70
	灰毛浆果楝 <i>Cipadessa baccifera</i>				10.29
	Un: (未鉴定种); unidentified species				9.71
	龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>				8.24
	假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>				7.94
	毛茛 <i>Melastoma sanguineum</i>			112.20	
	黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>			48.65	

树物种数共达 32 种,在马尾松近自然林中为 16 种,马尾松未改造林中为 14 种,杉木近自然林中为 13 种,杉木未改造林中为 4 种,马尾松和杉木近自然林分别比各自未改造纯林多 2 种(14.3%)和 9 种(225.0%);幼

树重要值在近自然林中最大的为红椎(马尾松近自然林中为 50.06,杉木近自然林中为 101.70)和香梓楠(马尾松近自然林中为 74.26,杉木近自然林中为 48.45),在马尾松未改造纯林中最大为杉木(55.59),这是由于马尾松纯林的前茬是杉木林,伐后留下的根兜萌发出杉木幼苗,在杉木未改造纯林中重要值最大的是毛茛(112.20)。

所有样地共出现草本植物 20 种(表 3),在马尾松近自然林中有 9 种,马尾松未改造纯林 11 种,杉木近自然林 16 种,杉木未改造纯林 14 种,马尾松和杉木近自然林分别比各自未改造纯林少 2 种(18.2%)和多 2 种(14.3%)。马尾松未改造纯林主要物种为弓果黍(109.13)和蔓生莠竹(74.25)等中生物种,而在近自然林中为铁芒箕(74.84)和五节芒(68.16)等阳性物种;杉木未改造纯林中重要值最大的是中生偏阴生性的物种半边旗(122.74),而在近自然林中重要值最大的则为阳性物种棕叶芦(54.42)。

表 3 草本植物组成及其重要值
Table 3 Herb species and its importance value

编号 Number	物种 Species	林分类型 Forest types			
		马尾松未改造纯林 <i>Pinus massoniana</i> plantation forest monocultures	马尾松近自然林 <i>Pinus massoniana</i> close-to-nature forest	杉木未改造纯林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> plantation forest monocultures	杉木近自然林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> close-to-nature forest
1	弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	109.13	46.03	30.47	8.17
2	蔓生莠竹 <i>Microstegium fasciculatum</i>	74.25	34.20		25.94
3	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	22.65	68.16	24.62	34.39
4	艳山姜 <i>Alpinia zerumbet</i>	18.65		4.43	7.10
5	扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	16.01	41.75	28.36	37.59
6	棕叶芦 <i>Thysanolaena latifolia</i>	15.26		30.37	54.42
7	中华鳞始蕨 <i>Lindsaea odorata</i>	11.36	4.30	11.09	20.28
8	东方乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	11.01	5.23	13.80	26.42
9	半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	10.99	13.89	122.74	14.43
10	铁芒箕 <i>Dicranopteris linearis</i>	9.91	74.84	4.31	39.29
11	蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>	0.77		4.00	
12	金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>			13.62	
13	莎草 <i>Cyperus microiria</i>			4.49	
14	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>			3.89	
15	华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>			3.80	10.02
16	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>		11.60		4.66
17	山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i>				6.67
18	毒根斑鸠菊 <i>Vernonia cumingiana</i>				3.09
19	紫箕 <i>Osmunda japonica</i>				4.69
20	紫茎泽兰 <i>Ageratina adenophora</i>				2.84

3.1.2 林分生长状况

由表 4 可知,改造后马尾松近自然林中主要树种马尾松的密度(267 株/hm²)约为其未改造纯林(1008 株/hm²)的 1/4,杉木近自然林中主要树种杉木的密度(475 株/hm²)约为其未改造纯林(1533 株/hm²)的 1/3,可见经过近自然改造的林分主要树种(马尾松和杉木)的密度显著低于未改造纯林($P < 0.05$)。近自然林中马尾松和杉木的平均胸径均高于各自未改造纯林,其中马尾松达到了显著差异($P < 0.05$)。马尾松近自然林中马尾松的平均树高与其未改造纯林差异不显著,杉木近自然林中杉木的平均树高显著低于其未改造纯林($P < 0.05$)。马尾松和杉木近自然林的胸高断面面积都显著低于各自未改造纯林($P < 0.05$)。红椎和香梓楠在马尾松近自然林中的生长状况均优于杉木近自然林,其中红椎的胸径和树高在马尾松近自然林中分别为

2.28 cm 和 3.4 m,在杉木近自然林中分别为 2.02 cm 和 2.4 m,两种近自然林间红椎的胸径、树高差异均不显著;而香樟楠在马尾松近自然林中除密度和胸高断面积与杉木近自然林无显著差异外,其平均胸径(2.75 cm)、平均树高(3.0 m)在马尾松近自然林中均显著高于杉木近自然林(分别为 0.47 cm 和 1.4 m, $P < 0.05$)。

表 4 林分主要树种生长状况

Table 4 Growth status of main tree species in different plantations

林分类型 Forest types	主要树种 Main tree species	密度 Density /(株/hm ²)	胸径 DBH /cm	树高 Height /m	胸高断面积 BA/(m ² /hm ²)
马尾松未改造纯林 <i>Pinus massoniana</i> plantation forest monocultures	马尾松 <i>Pinus. massoniana</i>	1008(213)b	19.54(1.15)b	14.0(0.9)a	31.08(3.35)a
马尾松近自然林 <i>Pinus massoniana</i>	马尾松 <i>Pinus. massoniana</i>	267(80)cd	23.77(0.23)a	14.5(0.6)a	12.01(3.54)b
红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>		225(164)cd	2.28(0.47)d	3.4(0.3)c	0.11(0.08)c
香樟楠 <i>Michelia gioii</i>		283(76)cd	2.75(0.77)d	3.0(0.9)c	0.21(0.15)c
杉木未改造纯林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> plantation forest monocultures	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1533(362)a	14.99(1.28)c	14.1(0.7)a	27.66(3.38)a
杉木近自然林 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	475(86)c	15.71(1.47)c	12.4(1.4)b	9.74(3.00)b
红椎 <i>Castanopsis hystrix</i>		192(38)cd	2.02(0.33)de	2.4(0.6)cd	0.07(0.04)c
香樟楠 <i>Michelia gioii</i>		92(14)d	0.47(0.81)e	1.4(0.7)d	0.003(0.006)c

括号内数字为标准差,类型间含有一个相同字母的表示无显著差异,其它均为有显著差异($P < 0.05$)

3.1.3 林分空间配置

通过对林木的胸径和树高进行综合分析可知(从图 1 中的宽度可以判断该纵坐标相对应胸径或树高的林木株数的多寡,同时也可见胸径和树高的分布范围),所有林分的胸径和树高分布均显示出两极分化的现象,即大径木与小径木的频度是最高的,而林地中很少出现中等径阶的树木,说明了马尾松和杉木人工纯林的林木配置特点,即林分是同龄林,林木的胸径和树高分布没有连续性,缺乏中间层,水平和垂直结构都比较单一。同时,无论是马尾松林还是杉木林,近自然林的成年树的数量明显少于各自未改造纯林,而小树、幼树和胸径小于 1 cm 的木本植物的数量则明显多于未改造纯林。

3.2 林下植物多样性

由图 2 可知,马尾松近自然林灌木层的物种丰富度指数(14.3)高于未改造纯林(9.3),但 Shannon-Wiener 指数(1.89)、Simpson 指数(0.73)和均匀度指数(0.71)均低于未改造纯林(分别为 1.97、0.83、0.88),各指数差异不显著;而草本层的状况与灌木层相反,即草本层的物种丰富度(6.3)低于未改造纯林(6.7),但 Shannon-Wiener 指数(1.47)、Simpson 指数(0.71)和均匀度指数(0.80)均高于未改造纯林(分别为 1.23、0.63、0.66),但各指数差异也不显著。

杉木近自然林灌木层的均匀度指数(0.79)、Simpson 指数(0.80)低于未改造纯林(分别为 0.88、0.83),而物种丰富度指数(15.7)、Shannon-Wiener 指数(2.13)则高于未改造纯林(分别为 10.3、2.05),其中物种丰富度指数差异达到显著水平($P < 0.05$);草本层的物种丰富度指数(9.0)、Shannon-Wiener 指数(1.71)、Simpson 指数(0.74)和均匀度指数(0.78)均高于未改造纯林(分别为 8.0、1.21、0.53、0.59),其中均匀度指数达到显著差异水平($P < 0.05$)。

3.3 土壤理化性质

由表 5 可知,所有林分的土壤容重随着深度增加而增加,总孔隙度随着深度增加而减小。马尾松和杉木近自然林跟各自未改造纯林相比,不同层次土壤的容重、总孔隙度略有差异,但均没有达到显著差异水平,因此近自然林的土壤疏松程度与未改造纯林没有显著差异。马尾松近自然林表层土壤(0—20cm)的有机碳含量(31.49 g/kg)和 pH 值(4.19)显著小于其未改造纯林(分别为 40.17 g/kg 和 5.14)($P < 0.05$),杉木近自然林表层土壤的速效磷含量(23.30 g/kg)显著小于其未改造纯林(43.34 g/kg)($P < 0.05$)。除此之外,马尾松

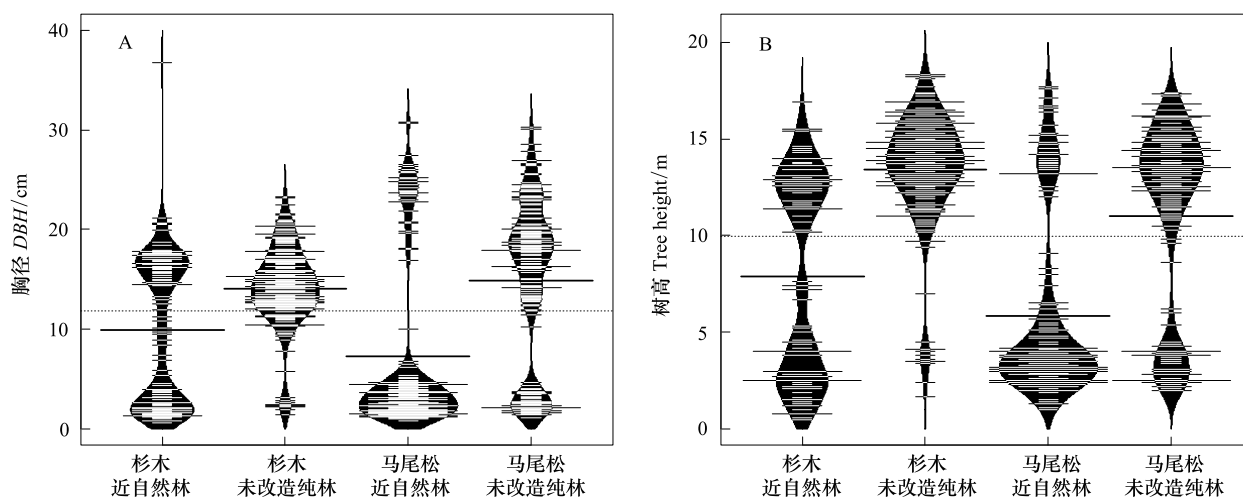


图1 林木胸径与树高结构

Fig.1 Structure of DBH and tree height

杉木近自然林 *Cunninghamia lanceolata* close-to-nature forest, 简称 Cc; 杉木未改造纯林 *Cunninghamia lanceolata* plantation forest monocultures, 简称 Cp; 马尾松近自然林 *Pinus massoniana* close-to-nature forest, 简称 Mc; 马尾松未改造纯林 *Pinus massoniana* plantation forest monocultures, 简称 Mp

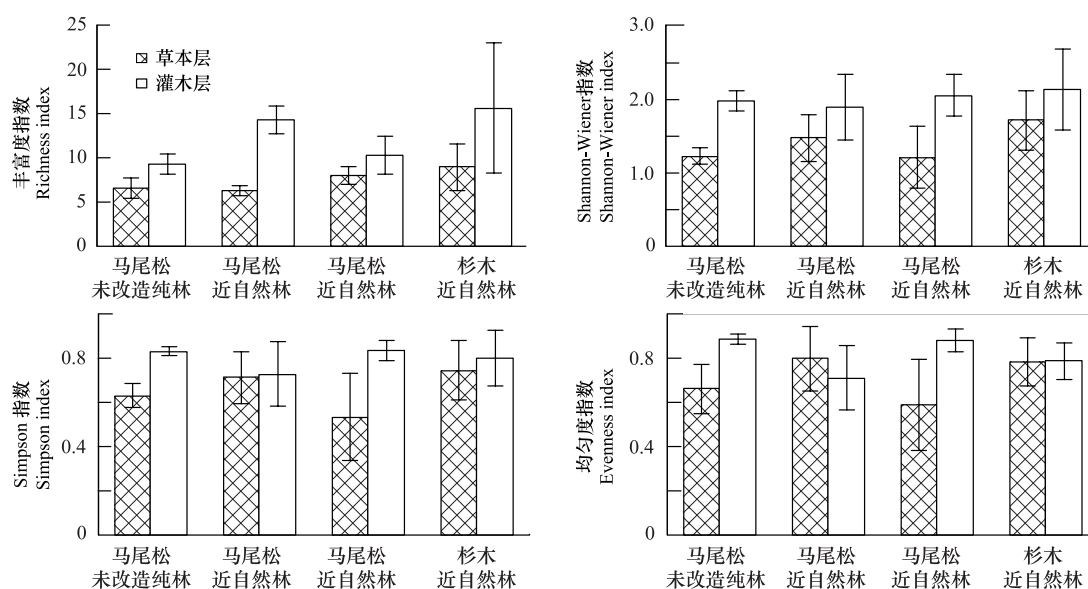


图2 不同林分的林下物种多样性

Fig.2 Species diversity of understory in different forest types

和杉木近自然林的全磷、全氮、全钾及速效钾跟各自未改造纯林相比均没有显著差异。由此可见,近自然改造早期可能会造成土壤有机碳和某些营养元素的流失。

4 结论与讨论

4.1 近自然改造早期对植物群落结构的影响

马尾松和杉木近自然林各自主要树种马尾松和杉木的密度分别为 267 株/hm² 和 475 株/hm², 约为各自未改造纯林的 1/4 和 1/3, 主要是由于根据目标树体系进行的强度间伐使其密度大大降低^[22], 同时也是为了给林下套种乡土树种提供合适的空间。使用最适合当地生境的乡土树种是树种选择的主要原则^[23], 以使林分接近“潜在的自然植被”^[24], 促进群落结构向更高等级的方向发生演替。本试验所套种的树种为红椎和香

表 5 林地土壤理化性质
Table 5 Physical and chemical characteristics of soil profile

林分类型 Forest types	土层 Soil layer /cm	全磷 Total P /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	有机碳 Organic carbon content/(g/kg)	pH	速效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)	容重 Bulk density /(g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity /%
马尾松未改造纯林	0—20	1.07(0.16) a	1.34(0.09) abc	5.59(1.73) bcd	40.17(6.96) a	5.14(1.16) a	24.19(10.35) bc	125.78(45.75) ab	1.48(0.03) cd	44.15(1.26) a
<i>Pinus massoniana</i> plantation	20—40	0.97(0.15) a	1.35(0.13) ab	6.72(2.09) bcd	29.10(1.20) bc	4.39(0.16) b	22.63(12.70) bc	130.70(61.38) ab	1.61(0.12) abc	39.89(4.54) abc
forest monocultures	40—60	0.89(0.13) a	1.10(0.16) abcd	6.97(2.97) bcd	21.45(2.87) de	4.49(0.20) ab	24.81(5.70) bc	155.26(100.95) ab	1.69(0.03) ab	36.17(1.10) bc
马尾松近自然林	0—20	1.20(0.79) a	1.41(0.21) a	3.39(0.26) d	31.49(2.27) b	4.19(0.06) b	25.22(17.27) bc	92.23(39.20) ab	1.45(0.06) d	45.00(2.13) a
<i>Pinus massoniana</i>	20—40	0.94(1.00) a	1.01(0.07) abcd	4.67(0.36) cd	24.60(3.08) cd	4.39(0.16) b	14.90(9.00) c	42.08(26.80) b	1.64(0.02) ab	37.61(0.71) bc
close-to-nature forest	40—60	1.43(0.61) a	0.84(0.17) bcd	4.05(0.82) d	14.42(2.64) f	4.56(0.12) ab	9.67(1.26) c	46.23(35.65) b	1.70(0.06) a	35.52(2.23) c
杉木未改造纯林	0—20	1.19(0.03) a	1.02(0.13) abcd	11.46(3.30) abc	25.18(1.36) cd	4.77(0.10) ab	43.34(13.32) a	226.48(54.29) a	1.55(0.14) bcd	41.52(5.15) ab
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	20—40	1.38(0.09) a	0.79(0.17) d	15.13(3.13) a	20.07(1.44) def	4.63(0.06) ab	32.73(9.79) ab	175.94(69.80) ab	1.64(0.01) ab	37.71(0.36) bc
plantation forest monocultures	40—60	1.10(0.32) a	0.80(0.20) cd	14.21(2.65) a	16.41(2.05) ef	4.84(0.14) ab	20.33(6.49) bc	223.09(33.58) a	1.72(0.02) a	34.82(0.83) c
杉木近自然林	0—20	0.97(0.13) a	1.54(0.43) a	11.71(8.54) ab	28.98(5.79) bc	4.83(0.79) ab	23.30(5.10) bc	234.31(191.90) a	1.55(0.13) bcd	41.44(5.13) ab
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	20—40	0.97(0.33) a	1.08(0.43) abcd	9.80(7.56) abcd	22.68(4.62) d	4.70(0.28) ab	24.49(3.34) bc	135.22(126.84) ab	1.67(0.12) ab	36.73(4.52) bc
close-to-nature forest	40—60	1.52(0.28) a	1.33(0.81) abcd	8.64(5.60) abcd	20.42(2.80) de	4.76(0.09) ab	20.50(15.16) bc	140.12(172.57) ab	1.72(0.12) a	34.88(4.45) c

括号内数字为标准差,类型间含有一个相同字母的表示无显著差异,其它均为有显著差异($P < 0.05$)

梓楠,它们既是乡土树种又有相当高的经济价值^[25],而且成为了马尾松和杉木近自然林中重要值最大的幼树物种,有利于人工针叶纯林向针阔混交林乃至阔叶混交林转变,同时带来生态和经济效益的提升。

马尾松和杉木近自然林中木本物种数均比未改造纯林多,成年树($DBH \geq 10$ cm)的重要值却相差不大,主要是因为尽管近自然改造实行了强度间伐,但是林分中成年树还是以改造前的树种为主,因此成年树的物种和重要值没有太大的变化,马尾松和杉木仍在群落中处于绝对优势地位。近自然林间伐后林隙增大,为小树($5 \text{ cm} \leq DBH < 10 \text{ cm}$)生长提供了良好的环境,因此两种近自然林中的小树都比未改造纯林小树物种数多,马尾松未改造纯林中甚至没有小树,说明了林下天然更新的状况非常差。近自然林中幼树($1 \text{ cm} \leq DBH < 5 \text{ cm}$)的数量大量增加(表3和图1),这也归功于目标树体系下的强度间伐使群落光照条件得到改善,提供了异质性斑块空间,为其他物种的进入和发育提供多元化的栖息因子^[26-27]。

总体而言,马尾松和杉木人工纯林的近自然改造大大降低了上层林木的密度,促进了林下物种的天然更新,使近自然林的林相更加健全(图1),从而改善了林分的树种组成和结构,群落结构向“潜在自然植被”方向演化^[17-18],有利于建立稳定的森林生态系统。

4.2 近自然改造早期对物种多样性的影响

马尾松近自然林灌木层和草本层的多样性指数与未改造纯林无显著差异,主要是由于间伐提供了林下植物生长空间的同时,整地和套种却抑制了林下植物的生长。同时,当林分密度过低的时候,林下物种会受到上层占据更大资源空间的林木的强烈抑制^[28],因此马尾松近自然林和未改造纯林的林下植被生长都受到了抑制,导致它们之间没有产生显著差异。而杉木近自然林的部分多样性指数显著高于未改造纯林($P < 0.05$),可能是由于杉木冠幅比马尾松小,对林下植物的抑制作用没有马尾松强烈,从而林下的光照条件比马尾松林有了更大的改善,生物多样性得到了显著提高。林思祖等^[29]通过对杉木纯林近自然改造研究,认为近自然改造提高了生物多样性,与本文研究结果一致。本研究对马尾松和杉木人工纯林均进行了结构调整,具体经营措施相差无几,然而结果却并不一致,由此可见,虽然近自然作为一个指导思想,以培育近自然的森林为目标,为森林经营指明了方向,规定了其经营标准和原则^[30],但仍需积极探索实现不同区域、不同类型森林经营目标的具体方法和技术手段^[31-32]。由于不同森林类型之间存在差异,因此在林业生产中,以近自然思想为指导,具体经营方法和技术不能一刀切,而应综合考虑立地条件、林分的树种组成和结构状况,针对不同林分类型制定相应的森林经营方案,调整和改善林分结构,维护森林生态系统的稳定性。

4.3 近自然改造早期对土壤性质的影响

马尾松和杉木近自然林的土壤容重和总孔隙度与未改造纯林均没有显著差异,说明近自然林与未改造纯林早期的土壤物理性质差异不大。马尾松近自然林的土壤有机碳含量和pH值显著低于未改造纯林($P < 0.05$),主要是由于在近自然改造早期,15年生的林木被大量伐除导致了土壤的碳排放,初生植被的生产力不如被伐的成年树,从而减少了土壤碳输入,土壤碳输入量的减少和碳排放的增加,共同导致了近自然林土壤有机碳含量低于未改造纯林。杉木近自然林的速效磷含量显著低于其未改造纯林($P < 0.05$),可能是近自然改造后,杉木得以快速生长,吸收了土壤中大量的速效磷,同时近自然改造中的强度间伐和清林整地使土壤裸露,改变了土壤表层的微环境^[33],降雨等导致土壤磷元素流失所引起的。

有研究表明,通过近自然经营能提高红松人工林的土壤质量^[34],杉木人工林近自然经营使土壤肥力得到提升^[35],马尾松林下套种阔叶树种对林分土壤理化性质有显著影响^[36],与本研究杉木和马尾松纯林近自然改造早期对土壤性质影响结果不完全一致,一方面是由于上述研究的作业法与本研究有区别,另一方面可能是上述研究中的林分近自然改造时间均较长(17a或以上),对土壤理化性质影响的表现特征不一样等原因造成的。Jandla等^[37]研究表明,建立混交林能提高森林的生产力,增加土壤的碳输入,降低土壤有机质的分解率。随着近自然改造后时间的推移,套种的红椎和香梓楠的生产力将逐步提高,近自然改造对不同阶段土壤碳含量和其他营养元素的长期影响有待进一步研究。

致谢:本研究外业调查得到了中国林业科学研究院热带林业实验中心蔡道雄、贾宏炎、卢立华、郭文福、温恒

辉、明安刚和唐继新的帮助,谨此致谢。

References:

- [1] Xiang W H, Tian D L. Nutrient cycling in *Pinus massoniana* Stands of different age classes. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2002, 26(1): 89-95.
- [2] Liu L, Duan Z H, Wang S L, Hu J C, Hu Z G, Zhang Q R, Wang S J. Effects of *Cunninghamia lanceolata* plantations at different developmental stages on soil microbial community structure. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(12): 2417-2423.
- [3] Tian D L, Shen Y, Kang W X, Xiang W H, Yan W D, Deng X W. Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 5025-5032.
- [4] Xia Z C, Kong C H, Wang P, Chen L C, Wang S L. Characteristics of soil microbial community structure in *Cunninghamia lanceolata* plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(8): 2135-2140.
- [5] Zhou T, Sheng W T. On the plantation sustainability in China. *World Forestry Research*, 2008, 21(3): 49-53.
- [6] Shao Q H. A Boom of "nature-approximating forestry" in Middle Europe. *World Forestry Research*, 1991, 4(4): 1-4.
- [7] Bradshaw R, Gemmel P, Björkman L. Development of nature-based silvicultural models in southern Sweden: the scientific background. *Forest and Landscape Research*, 1994, 1(2): 95-110.
- [8] Schütz J P. Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity?. *Forestry*, 1999, 72(4): 359-366.
- [9] Schütz J P. Development of close to nature forestry and the role of ProSilva Europe. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 2011, (94): 39-42.
- [10] Wolynski A. Close-to-nature forestry in the trentino/North Italy. *Forst und Holz*, 2001, 56(10): 312-315.
- [11] Meyer P. Network of strict forest reserves as reference system for close to nature forestry in Lower Saxony, Germany. *Forest Snow and Landscape Research*, 2005, 79(1/2): 33-44.
- [12] Lu Y C, Luan S Q, Zhang S G, Bernhard V D H, Lei X D, Bao Y. From normal forest to close-to-nature forest: multi-functional forestry and its practice at national, regional and forest management unit levels in Germany. *World Forestry Research*, 2010, 23(1): 1-11.
- [13] Lu Y C. Theories and Practices on Close to Nature Forest Management. Beijing: Science Press, 2006.
- [14] Zhang D H, Lin Q. Close to nature forestry and sustainable development of forestry. *Ecological Economy*, 2000, (7): 23-26.
- [15] Lu Y C, Zhang S G, Lei X D. Theoretical basis and implementation techniques on close-to-nature transformation of plantations. *World Forestry Research*, 2009, 22(1): 20-27.
- [16] Zhang S S, Wu L, Yang Q P, Song Y L, Zhang Z W, Tang Y K, Ma L R, Li L. Water-holding characteristics of litter at different stage of *Pinus massoniana* Lamb. close-to-nature forest improvement in Tuanfeng. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2008, (6): 8-12.
- [17] Ning J K, Lu Y C, Zhao H Y, Liu X Z, Ren Y M, Chen J Q. Assessment on close-to-nature transformation of *pinus tabulaeformis* plantations in Xishan Region, Beijing. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(7): 42-44.
- [18] Zhang J Y, Lu Y C, Cheng K W, Zhong K P, Huang Y X. Impact of near nature modification on community structure and species biodiversity of artificial *Pinus yunnanensis* forest. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2010, 33(3): 72-77.
- [19] Zhang X J, Wang Q C, Wang S L, Sun Q. Effect of the close-to-nature transformation of *Larix gmelinii* pure stands on plant diversity of understory vegetation in Xiaoxing'an Mountains of China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(1): 6-14.
- [20] Qin L, He Y J, Li Z Y, Shao M X, Liang X Y, Tan L. Allocation pattern of biomass and productivity for three plantations of *Castanopsis hystrix*, *Pinus massoniana* and their mixture in South subtropical area of Guangxi, China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(12): 17-21.
- [21] Ding Y, Zang Y G. Effect of different commercial logging manners on recovery of tropical montane rain forests in Bawangling, Hainan Island. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(11): 1-5.
- [22] Abetz P, Klädte J. The target tree management system. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2002, 121(2): 73-82.
- [23] Kuchel S, Saniga M, Jaloviar P, Vencurik J. Stand structure and temporal variability in old-growth beech-dominated forests of the northwestern Carpathians: a 40-years perspective. *Forest Ecology and Management*, 2012, 264: 125-133.
- [24] Shao Q H. An elucidation to nature-approximating forestry and forestry target. *World Forestry Research*, 2003, 16(6): 1-5.
- [25] Editing Group of Chinese Academy of Forestry for Multi-Purpose Forestry. Exploring the Way for Development of Multi-Purpose Forestry in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010.
- [26] Wilson D S, Puettmann K J. Density management and biodiversity in young Douglas-fir forests: Challenges of managing across scales. *Forest Ecology and Management*, 2007, 246(1): 123-134.
- [27] Fahey R T, Puettmann K J. Patterns in spatial extent of gap influence on understory plant communities. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(7): 2801-2810.
- [28] Li G L, Liu Y, Lü R H, Yu H Q, Li R S. Responses of understory vegetation development to regulation of tree density in *Larix principis-rupprechtii* plantations. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(1): 19-24.
- [29] Lin S Z, Huang S G. A establishment and management of nature-approximating mixed forests in South China. *World Forestry Research*, 2001, 14(2): 73-78.
- [30] Lu Y C, Gan J. Development of forest management in the 21st Century. *World Forestry Research*, 2002, 15(1): 1-11.

- [31] Lu Y C, Lei X D, Hong L X, Ning J K, Liu X Z. Demonstrative application of the close-to-nature forest management planning system to forestry practice. *Journal of Southwest Forestry College*, 2010, 30(2): 1-6.
- [32] Lu Y C, Werner S, Liu X Z, Bao Y, Lei X D, Luan S Q, Meng J H. Study on operation system towards close-to-nature forest based on multi-function purposes. *Journal of Southwest Forestry College*, 2011, 31(4): 1-6, 11-11.
- [33] Berger T W, Neubauer C, Glatzel G. Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 2002, 159(1/2): 3-14.
- [34] Wang S L, Fan N N. Effects of management measures on soil properties of *Pinus koraiensis* Plantations. *Advanced Materials Research*, 2012, 356-360: 2758-2762.
- [35] Lin T L. Application effect research on intimate natural forestry management techniques for *Cunninghamia lanceolata* plantation. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2012, 32(3): 11-16.
- [36] Lin D X, Fan H B, Su B Q, Liu C H, Jiang Z K, Shen B G. Effect of interplantation of broad-leaved trees in *Pinus Massoniana* forest on physical and chemical properties of the soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 655-659.
- [37] Jandla R, Lindner M, Vesterdalen L, Bauwens B, Baritz R, Hagedorn F, Johnson D W, Minkinen K, Byrne K A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 2007, 137(3/4): 253-268.

参考文献:

- [1] 项文化, 田大伦. 不同年龄阶段马尾松人工林养分循环的研究. *植物生态学报*, 2002, 26(1): 89-95.
- [2] 刘丽, 段争虎, 汪思龙, 胡江春, 胡治刚, 张倩茹, 王书锦. 不同发育阶段杉木人工林对土壤微生物群落结构的影响. *生态学杂志*, 2009, 28(12): 2417-2423.
- [3] 田大伦, 沈燕, 康文星, 项文化, 闫文德, 邓湘雯. 连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较. *生态学报*, 2011, 31(17): 5025-5032.
- [4] 夏志超, 孔垂华, 王朋, 陈龙池, 汪思龙. 杉木人工林土壤微生物群落结构特征. *应用生态学报*, 2012, 23(8): 2135-2140.
- [5] 周霆, 盛伟彤. 关于我国人工林可持续问题. *世界林业研究*, 2008, 21(3): 49-53.
- [6] 邵青还. 第二次革命——“接近自然的林业”在中欧兴起. *世界林业研究*, 1991, 4(4): 1-4.
- [12] 陆元昌, 栾慎强, 张守攻, Bernhard von der Heyde, 雷相东, 包源. 从法正林转向近自然林: 德国多功能森林经营在国家、区域和经营单位层面的实践. *世界林业研究*, 2010, 23(1): 1-11.
- [13] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] 张鼎华, 林卿. 近自然林业与林业的可持续发展. *生态经济*, 2000, (7): 23-26.
- [15] 陆元昌, 张守攻, 雷相东, 宁金魁, 王懿祥. 人工林近自然化改造的理论基础和实施技术. *世界林业研究*, 2009, 22(1): 20-27.
- [16] 张胜三, 伍力, 杨全平, 宋亚莉, 张卓文, 唐亚坤, 马丽蓉, 李莉. 马尾松人工林近自然化改造不同阶段森林凋落物持水特性研究. *湖北林业科技*, 2008, (6): 8-12.
- [17] 宁金魁, 陆元昌, 赵浩彦, 刘宪钊, 任云卯, 陈峻崎. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价. *东北林业大学学报*, 2009, 37(7): 42-44.
- [18] 张俊艳, 陆元昌, 成克武, 钟开鹏, 黄永祥. 近自然改造对云南松人工林群落结构及物种多样性的影响. *河北农业大学学报*, 2010, 33(3): 72-77.
- [19] 张象君, 王庆成, 王石磊, 孙强. 小兴安岭落叶松人工纯林近自然化改造对林下植物多样性的影响. *林业科学*, 2011, 47(1): 6-14.
- [20] 覃林, 何友均, 李智勇, 邵梅香, 梁星云, 谭玲. 南亚热带红椎马尾松纯林及其混交林生物量和生产力分配格局. *林业科学*, 2011, 47(12): 17-21.
- [21] 丁易, 臧润国. 采伐方式对海南岛霸王岭热带山地雨林恢复的影响. *林业科学*, 2011, 47(11): 1-5.
- [24] 邵青还. 对近自然林业理论的诠释和对我国林业建设的几项建议. *世界林业研究*, 2003, 16(6): 1-5.
- [25] 中国林业科学研究院“多功能林业”编写组. 中国多功能林业发展道路探索. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [28] 李国雷, 刘勇, 吕瑞恒, 于海群, 李瑞生. 华北落叶松人工林密度调控对林下植被发育的作用过程. *北京林业大学学报*, 2009, 31(1): 19-24.
- [29] 林思祖, 黄世国. 论中国南方近自然混交林营造. *世界林业研究*, 2001, 14(2): 73-78.
- [30] 陆元昌, 甘敬. 21 世纪的森林经理发展动态. *世界林业研究*, 2002, 15(1): 1-11.
- [31] 陆元昌, 雷相东, 洪玲霞, 宁金魁, 刘宪钊, 孟京辉. 近自然森林经理计划体系技术应用示范. *西南林学院学报*, 2010, 30(2): 1-6.
- [32] 陆元昌, Schindele W, 刘宪钊, 包源, 雷相东, 栾慎强, 孟京辉. 多功能目标下的近自然森林经营作业法研究. *西南林业大学学报*, 2011, 31(4): 1-6, 11-11.
- [35] 林同龙. 杉木人工林近自然经营技术的应用效果研究. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(3): 11-16.
- [36] 林德喜, 樊后保, 苏兵强, 刘春华, 蒋宗垲, 沈宝贵. 马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究. *土壤学报*, 2004, 41(4): 655-659.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 8 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Special Topics in Urban Ecosystems

- Guidelines and evaluation indicators of urban ecological landscape construction SUN Ranhao, CHEN Ailian, LI Fen, et al (2322)
- Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns TAO Yu, LI Feng, WANG Rusong, et al (2330)
- Effects of land use change on ecosystem service value: a case study in Huaibei City, China ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (2343)
- Urban ecosystem complexity: an analysis based on urban municipal supervision and management information system DONG Rencai, GOU Yaqing, LIU Xin (2350)
- A case study of the effects of *in-situ* bioremediation on the release of pollutants from contaminated sediments in a typical, polluted urban river LIU Min, WANG Rusong, JIANG Ying, et al (2358)
- The pollution characteristics of Beijing urban road sediments REN Yufen, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2365)
- Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (2372)
- Seasonal dynamics of airborne pollen in Beijing Urban Area MENG Ling, WANG Xiaoke, OUYANG Zhiyun, et al (2381)

Autecology & Fundamentals

- Impact of alpine meadow degradation on soil water conservation in the source region of three rivers XU Cui, ZHANG Linbo, DU Jiaqiang, et al (2388)
- Predicting the plant exposure to soil arsenic under varying soil factors XIAN Yu, WANG Meie, CHEN Weiping (2400)
- Attraction effect of different host-plant to Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* LI Chao, CHENG Dengfa, GUO Wenchao, et al (2410)
- Root decomposition and nutrient dynamics of *Quercus mongolica* and *Betula Platyphylla* JIN Beibei, GUO Qingxi (2416)
- The interaction of drought and slope aspect on growth of *Quercus variabilis* and *Platycladus orientalis* WANG Lin, FENG Jinxia, WANG Shuangxia, et al (2425)
- Effects of diameter at breast height on crown characteristics of Chinese Fir under different canopy density conditions FU Liyong, SUN Hua, ZHANG Huiru, et al (2434)
- Effects of temperature acclimation and acute thermal change on cutaneous respiration in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) XIAN Xuemei, CAO Zhendong, FU Shijian (2444)

Population, Community and Ecosystem

- Altitudinal pattern of plant species diversity in the Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi, China HE Yanhua, YAN Ming, ZHANG Qindi, et al (2452)
- Vegetation succession on Baishui No. 1 glacier foreland, Mt. Yulong CHANG Li, HE Yuanqing, YANG Taibao, et al (2463)
- The effects of *Spartina alterniflora* seaward invasion on soil organic carbon fractions, sources and distribution WANG Gang, YANG Wenbin, WANG Guoxiang, et al (2474)
- Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China HE Youjun, LIANG Xingyun, QIN Lin, et al (2484)
- Response of invasive plant *Flaveria bidentis* to simulated herbivory based on the growth and reproduction WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, LI Yujin, et al (2496)
- Estimation of leaf area index of secondary *Betula platyphylla* forest in Xiaoxing'an Mountains LIU Zhili, JIN Guangze (2505)
- Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (2514)
- Application of polychaete in ecological environment evaluation of Laizhou Bay ZHANG Ying, LI Shaowen, LÜ Zhenbo, et al (2522)
- Soil meso- and micro arthropod community diversity in the burned areas of *Pinus massoniana* plantation at different restoration stages YANG Daxing, YANG Maofa, XU Jin, et al (2531)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Temporal variety of boundary layer height over deep arid region and the relations with energy balance ZHANG Jie, ZHANG Qiang, TANG Congguo (2545)
- Analysis and forecast of landscape pattern in Xi'an from 2000 to 2011 ZHAO Yonghua, JIA Xia, LIU Jianchao, et al (2556)
- Spatio-temporal variation in the value of ecosystem services and its response to land use intensity in an urbanized watershed HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (2565)

Resource and Industrial Ecology

- Household optimal forest management decision and carbon supply: case from Zhejiang and Jiangxi Provinces ZHU Zhen, SHEN Yueqin, WU Weiguang, et al (2577)
- Spatial variability characteristics of soil nutrients in tobacco fields of gentle slope based on GIS LIU Guoshun, CHANG Dong, YE Xiefeng, et al (2586)
- Method of determining the maximum leaf area index of spring maize and its application MA Xueyan, ZHOU Guangsheng (2596)

Urban, Rural and Social Ecology

- Morphological structure of leaves and dust-retaining capability of common street trees in Guangzhou Municipality LIU Lu, GUAN Dongsheng, CHEN Yongqin David (2604)

Research Notes

- Morphological responses to temperature, drought stress and their interaction during seed germination of *Platycodon grandiflorum* LIU Zigang, SHEN Bing, ZHANG Yan (2615)
- Effects of nutrients on the growth of the parasitic plant *Cuscuta australis* R. Br. ZHANG Jing, LI Junmin, YAN Ming (2623)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 吕永龙

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 8 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 8 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元