

# 杉木人工林不同发育阶段林下植被、 土壤微生物、酶活性及养分的变化\*

焦如珍 杨承栋 屠星南 盛炜彤

**摘要** 土壤微生物总数及细菌、真菌数量、土壤酶活性(特别是蛋白酶、磷酸酶和蔗糖酶)及土壤养分状况(主要是有机质含量)从杉木幼龄林到中龄林随着林冠的郁闭,林下植被盖度急剧下降,呈明显下降趋势;土壤微生物总数,细菌总数,蛋白酶,磷酸酶,蔗糖酶以及土壤有机质从中龄林到成熟林随着林木密度及郁闭度下降,林下植被盖度逐步得到恢复,也呈明显的上升趋势。由于过氧化氢酶和多酚氧化酶活性的降低,有可能导致中龄林土壤中多酚类有毒物质的积累,这或许是杉木连栽产量下降或成活率低的原因之一。

**关键词** 杉木 发育阶段 林下植被 土壤微生物 土壤酶活性 土壤养分

杉木是我国特有的速生丰产树种,分布在我国 17 个省(市),由于以往一些不正确的经营方式及耕作措施如纯林、全垦整地、炼山等,兼之该树种特有的生物学特性,致使林分树种地力衰退现象十分严重。为了揭示杉木人工林地力衰退机制,本文对不同发育阶段杉木人工林林下植被情况、土壤酶活性、土壤微生物数量、土壤养分状况进行了重点研究,试图为防治杉木人工林地力衰退提供可靠的科学依据。

## 1 研究地区的自然概况

研究工作在江西省分宜县中国林科院亚热带林业实验中心的上村林场和年珠林场进行,两林场位于大岗山的东北侧,地处 27°30' N, 114°30' E, 属中亚热带,以低山丘陵地貌为主,海拔高度 500 ~ 1 000 m,整个地形是西北偏高(800 ~ 1 000 m),诸山峰相连,有效地阻挡了寒流袭击,有利于林木生长,年平均气温 17.5 °C,年降水量 1 593.7 mm,且 50% 集中在 4 ~ 6 月份,无霜期为 268 d,由于湿热同期,植物生长茂盛,成土的富铝化和生物富集化同时进行,形成了盐基不饱和的酸性土壤。上村林场母岩为板岩,土壤类型为黄红壤,年珠林场母岩为页岩,土壤类型为红壤,这两个林场地带性植被均为常绿阔叶林<sup>[10]</sup>。杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 林下主要植被有狗脊(*Woodwardia japonica* (H. F) Sm.)、乌蕨(*Stenoloma chusanum* (L.) Ching)、红淡(*Adiantum* spp.)、鼠刺(*Itea chinensis* Hook. et Arn.)、木(*Loropetalum chinensis* (R. Br.) Oliver)、映山红(*Rhododendron mariesii* Hemsl. et Wils)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera* (Kze.) Ching)、鸡血藤(*Millettia reticulata* Benth.)、海金沙(*Lygodium* sp.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、土茯苓(*Smilax* sp.)、五节芒(*Miscanthus*

1996—10—26 收稿。

焦如珍助理研究员,杨承栋,屠星南,盛炜彤(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 该研究是 1994 ~ 1996 年国家自然科学基金项目“人工杉木林、湿地松林下土壤变化规律及维护地力的途径”部分内容。

*floridulus* (Labill) Warb.)、鸡血藤(*Millettia reticulata* Benth.)、悬钩子(*Rubus* spp. Focke)、淡竹叶(*Lophantherum gracile* Brongn)、小蓼(*Polygonum tenellum* Bl.)、杜茎山(*Maesa forsk* spp.)、苦苣苔(*Conandron ramondioides* Sieb. et Zucc)、飞蓬(*Erigeron acris* L.)、山苍子(*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz.)、连蕊茶(*Camellia fraterna* Hance)。

## 2 研究方法

### 2.1 样地的设置

分别于1994年5月、1994年10月在上村林场、年珠林场相似立地条件(16地位指数级)不同林龄(即幼龄林、中龄林、成熟林)的杉木人工林下各选3块样地,先按常规进行测树因子的调查,然后机械布点设置10个1 m × 1 m的小样方,详细记录每个样方内的植物种类、盖度等,最后采集土壤及植物样品,采样方法为多点混合采样法,采样深度为0~40 cm。

### 2.2 实验方法

土壤微生物区系分析采用平板分析法;细菌采用牛肉蛋白胨培养基,以稀释度为 $10^{-3}$ 的土壤稀释液接种;真菌采用孟加拉红马丁氏琼脂培养基,以稀释度为 $10^{-2}$ 的土壤稀释液接种;放线菌采用淀粉铵盐琼脂培养基,以稀释度为 $10^{-2}$ 的土壤稀释液接种。各区系分析均采用表面接种法接种,且每一处理设3个重复,接种后置25~28℃温箱内培养,细菌在18~36 h内检查,真菌在3~5 d内检查,放线菌在7~10 d内检查结果。

土壤含水量测定采用烘干法、有机质用重铬酸钾法、水解N用碱解扩散法、速效P用双酸法、速效K用火光度计法。过氧化氢酶活性测定运用J. L. Johnson & K. L. Temple法;蛋白酶活性测定运用茚三酮显色比色法;多酚氧化酶活性测定运用A. Ш. Галстян法;磷酸酶活性测定运用M. Кремер和Г. Эрдеи法;脲酶活性测定运用G. Hoffmann和K. Teicher法;蔗糖酶活性测定运用T. A. Шербакова法<sup>[1-3]</sup>。

## 3 研究结果及分析

### 3.1 不同发育阶段杉木林下植被情况

林下植被发育有利于林地土壤肥力维护与提高<sup>[4,5]</sup>,而在杉木人工林不同林龄,由于受林

表1 不同发育阶段杉木人工林林下植被调查

标地号	林龄 (a)	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)	株数 (株/hm <sup>2</sup> )	郁闭度	林下植被 盖度(%)	生物量 (t/hm <sup>2</sup> )	主要植被
94—上幼2	7	8.2	7.0	3 600	0.8	78.0	7.379	映山红、木、鼠刺、五节芒、狗脊
94—上中4	18	17.11	13.7	1 815	0.7	35.0	1.746	狗脊、金星藤、鸡血藤、爵床、木、海金沙
94—上成5	24	20.20	14.8		0.3	94.0	9.475	狗脊、悬钩子、淡竹叶、蓼
94—年幼13	4		3.5	2 505	0.7	58.0	4.759	杜茎山、苦苣苔、飞蓬、乌蕨、狗脊、山苍子
94—年中种源	15	12.70	11.4	3 300	0.9	6.0	0.299	大青、油茶、鼠刺、全药红淡、狗脊、土茯苓
94—年成10	25	17.90	14.4	1 185	0.5~0.6	77.0	7.248	全药红淡、木荷、连蕊茶、狗脊、大青

注:林下植被盖度于1994—10调查。

木郁闭度、林木自然整枝、间伐等的影响, 林下植被发展有较大差别。

从表 1 可以看出, 不同林龄, 从幼龄林、中龄林到成熟林, 林下植被盖度和生物量有很大差别, 特别是中龄林, 林下植被的盖度, 处在最小时期, 只有 6.0% ~ 35.0%, 因而植被生物量也最低, 每公顷只有 0.299 ~ 1.746 t。到了成熟林, 植被又得到了恢复, 林下植被盖度, 达到了 77% ~ 78%, 最高达 94%, 生物量为 7.248 t/hm<sup>2</sup>, 最高达 9.475 t/hm<sup>2</sup>。从植被组成看, 中龄林主要是草本植物——狗脊占很大比重, 但到了成熟林, 灌木植被也生长较好, 形成了有乔灌草结构的林分。以往的研究表明, 当林下植被生物量达到 5 t/hm<sup>2</sup> 以上时, 对于林地土壤理化性质和生物特性有很大影响<sup>[5]</sup>。

### 3.2 杉木不同发育阶段土壤微生物区系

土壤微生物数量直接影响土壤的生物化学活性及土壤养分的组成与转化, 是林地土壤肥力的重要指标之一<sup>[6]</sup>。

细菌数量很大程度与土壤有机质含量成正相关<sup>[7]</sup>, 从表 2 可以看出, 不论是上村林场还是年珠林场, 杉木中龄林的微生物总数及细菌数量均明显低于杉木幼龄林和成熟林。这表明杉木中龄林土壤中微生物的活动减弱, 分解枯落物能力下降, 养分归还减弱。

表 2 杉木不同发育阶段土壤微生物调查

(单位: 个/g)

标地号	林龄(a)	微生物总数( $\times 10^6$ )	细菌( $\times 10^6$ )	真菌( $\times 10^4$ )	放线菌( $\times 10^4$ )
94—上幼 2	7	1.135 7	1.030	3.170	7.40
94—上中 4	18	0.823 4	0.754	0.780	6.16
94—上成 5	24	1.718 7	1.620	2.350	7.52
94—年幼 13	4	1.732 2	1.683	2.420	2.50
94—年中种源	15	0.928 3	0.869	0.918	5.01
94—年成 10	25	1.218 6	1.187	0.871	4.56

放线菌的发育远比大多数的真菌和细菌缓慢, 它的作用主要是分解植物和动物的某些难分解的组分, 形成腐殖质, 把植物残体和枯落物转化为土壤有机组分<sup>[7]</sup>。从表 3 可以看出, 随着杉木林龄的增长, 放线菌数量变化无明显规律。这一方面可能是由于取样过深, 从而淡化了对放线菌的影响; 另一方面是由于放线菌的发育缓慢, 当植被生物量大、营养水平高的时候, 放线菌竞争能力弱, 因而在数量上相对稀少, 而在植被生物量较小的时候, 由于竞争压力减少, 放线菌反而占优势<sup>[7]</sup>。

真菌积极参与有机物质的分解, 使枯落物中的蛋白质, 形成林木可直接吸收的可溶性 N 素氨基酸和铵盐等, 同时它对无机营养的吸收也有显著的影响。从表 1 可以看出, 无论是在上村林场还是在年珠林场, 由于林下植被生物量从幼龄林到中龄林呈下降趋势, 枯落物也随之下降, 土壤中有机质含量也随之降低(从表 4 中也可得到验证), 而有机质含量直接影响真菌数量, 因而真菌数量也呈下降趋势; 从中龄林到成熟林, 随着林下植被的恢复和发展, 枯落物量的增加, 真菌数量也呈上升趋势。

### 3.3 杉木不同发育阶段土壤酶活性

土壤酶参与有机物质的分解和腐殖质的形成, 它对土壤形成、土壤肥力状况起着重要作用。

从表 3 可以看出,不同发育阶段杉木林土壤酶活性有显著不同,中龄林和成熟林的过氧化氢酶活性明显低于幼龄林,由于中龄林和成熟林过氧化氢酶降低,过氧化氢得不到及时分解,积累在土壤中有可能导致土壤毒性产生。

中龄林蛋白酶活性低于幼龄林和成熟林。由于中龄林蛋白酶活性的下降,影响了其枯落物中蛋白质的分解,减少了氨基酸的生成,从而减少了腐殖质和速效 N 的形成,这与所测速效 N 含量相一致。

磷酸酶是一种能促进磷酸酯水解,释放出正磷酸的酶。它提供了林木生长所需的速效 P。由于中龄林磷酸酶活性低于幼龄林和成熟林,磷酸酶活性下降,可能影响无效 P 向有效 P 的转化,减少速效 P 含量。

蔗糖酶的活性可以反映土壤中 C 的转化和呼吸强度;表 3 表明,杉木从幼龄林至中龄林,土壤中蔗糖酶活性下降,而从中龄林至成熟林,蔗糖酶活性又上升。说明在土壤中 C 的转化速率中龄林低于幼龄林和成熟林。

脲酶能促进尿素水解生成氨和二氧化碳,是林木 N 素营养的直接来源。从表 3 看出,杉木幼龄林土壤中脲酶活性明显高于中龄林和成熟林。

多酚氧化酶参与腐殖质组分芳香族有机化合物的转化。有空气存在时,它能促进酚氧化成醌。而醌在适宜条件下,与氨基酸和肽缩合,形成最初的胡敏酸分子。从表 3 可以看出,杉木中龄林和成熟林土壤多酚氧化酶活性明显低于幼龄林,影响腐殖质的形成,并有可能造成有毒的多酚类物质的积累。有些学者认为这是杉木连栽成活率低甚至不能成活的重要原因之一<sup>[6]</sup>。

表 3 不同发育阶段杉木林下 0~40 cm 土层土壤酶活性

标地号	林龄(a)	过氧化氢酶 (0.1 mol/L KMnO <sub>4</sub> mL/g)	蛋白酶 (NH <sub>2</sub> -N mg/g)	磷酸酶 (酚 mg/g)	蔗糖酶 (葡萄糖 mg/g)	脲酶 (NH <sub>3</sub> -N mg/g)	多酚氧化酶 (红紫锆精 mg/g)
94—上幼2	7	0.039 8	0.260	0.374 4	2.1	0.008 4	0.210
94—上中4	18	0.026 2	0.095	0.081 6	0.8		0.120
94—上成6	24	0.027 0	0.260	0.192 0	1.3	0.004 9	0.120
94—年幼13	4	0.042 2	0.330	0.326 4	1.7	0.005 3	0.123
94—年中种源	15	0.035 8	0.055	0.213 6	1.2	0.004 6	0.060
94—年成10	25	0.033 4	0.078	0.316 8	1.8	0.003 5	0.058

### 3.4 不同发育阶段土壤养分状况

随着杉木发育阶段的变化,林下土壤养分也存在明显差异,并有一定的规律性。从表 4 可以得出,有机质在杉木幼龄林中含量最高,中龄林明显下降,成熟林又有所回升。这与表 2 中土壤微生物总数及细菌数量结果一致;同时也反映了随着林下植被的变化,有机质含量也产生相应的变化。

表 4 不同发育阶段土壤养分

标地号	林龄(a)	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	速效 N (mg/kg)
94—上幼2	7	0~40	31.08	0.40	61.65	80.01
94—上中4	18	0~40	23.10	0.35	33.37	67.41
94—上成6	24	0~40	28.54	0.29	37.57	75.48
94—年幼13	4	0~40	27.46	1.18	59.55	108.57
94—年中种源	15	0~40	17.04	0.27	51.29	68.09
94—年成10	25	0~40	21.69	0.44	54.74	62.42

速效 K 在不同发育阶段也表现出明显的规律性, 在中龄林中, 速效 K 含量明显低于幼龄林和成熟林, 这与杉木林下植被盖度的多少呈正相关。

杉木中龄林和成熟林土壤中速效 P 和速效 N 含量均明显低于幼龄林, 但中龄林和成熟林之间差别不明显, 这可能是由于采样深度过深(0~40 cm), 淡化了林下植被恢复的作用。

### 3.5 林下植被生长与土壤微生物、酶活性及养分变化的关系

如上所述, 不同发育阶段林下植被的变化具明显差异性, 通常在杉木幼林郁闭前有较丰富的草被和灌木; 幼林郁闭后, 这些草被和灌木逐渐淘汰, 到中龄林时一般林下植被发展很弱, 而后由于间伐, 自然整枝及林木高度增加, 林内透光度也不断提高, 林下植被开始恢复, 林龄愈高, 林下植被愈发达。与此同时土壤微生物区系、土壤酶活性及土壤养分也随之得到恢复和提高。在此次杉木人工林不同发育阶段土壤肥力状况调查中, 上述这种关系是明显的(见图 1), 因此杉木林下植被发育是杉木人工林从中龄林到成熟林土壤肥力得到恢复和提高的重要因素

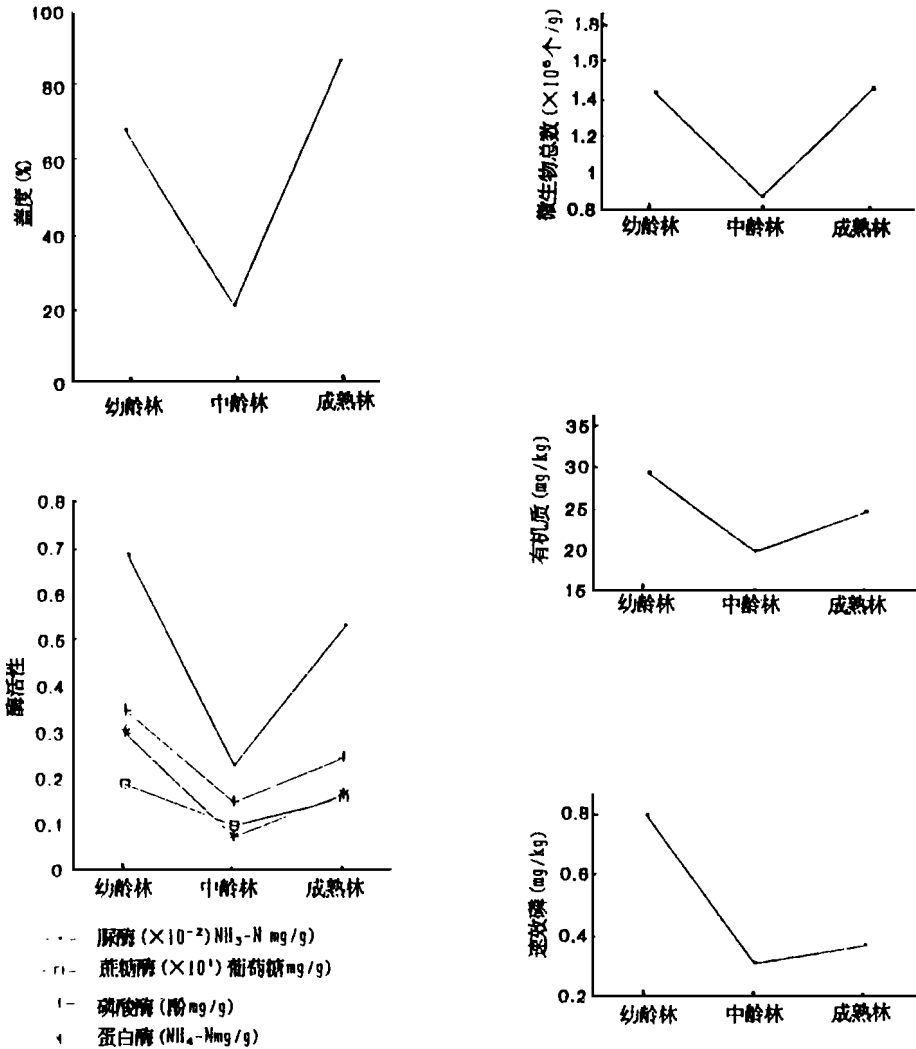


图 1 杉木人工林不同发育阶段林下植被与土壤微生物、酶活性及养分变化的关系

之一。

## 4 结语与讨论

(1) 杉木人工林从幼龄林到中龄林, 林下植被盖度呈下降趋势; 随着间伐等措施和林木高生长的增加, 从中龄林到成熟林, 林下植被逐步恢复, 林下植被盖度呈上升趋势。

(2) 杉木人工林从幼龄林到中龄林, 土壤中微生物总数、细菌和真菌的数量下降, 但放线菌的数量变化无明显的规律性; 从中龄林至成熟林土壤中微生物总数、细菌和真菌的数量回增, 而放线菌的数量变化不规律。

(3) 杉木人工林从幼龄林至中龄林, 土壤中过氧化氢酶、蛋白酶、磷酸酶、蔗糖酶、脲酶、多酚氧化酶活性均呈下降趋势; 从中龄林到成熟林土壤中蛋白酶、磷酸酶、蔗糖酶明显回升, 但过氧化氢酶和多酚氧化酶仍明显低于幼龄林, 这有可能导致多酚类有毒物质的积累, 且或许是杉木连栽产量下降或成活率低的原因之一。

(4) 杉木人工林从幼龄林至中龄林, 土壤中有有机质、速效 N、速效 P、速效 K 含量呈下降趋势; 从中龄林至成熟林土壤中有有机质、速效 K 含量呈上升趋势, 速效 N、速效 P 含量变化无明显规律性。

(5) 土壤中微生物数量、酶活性及土壤养分, 在中龄林较低, 到成熟林又有所提高, 这与林分密度下降, 林下植被增多有密切关系。可见, 林下植被的生长状况是土壤肥力能否恢复的重要因素之一。

(6) 在本项研究中, 有些因子变化趋势不明显, 这主要与取样深度有关。

## 参 考 文 献

- 1 许光辉. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986.
- 2 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985.
- 3 [日] 土壤微生物研究会编(叶维青等译). 土壤微生物实验法. 北京: 科学出版社, 1983.
- 4 杨承栋, 焦如珍, 屠星南, 等. 发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径. 林业科学, 1995, 31(3): 276 ~ 283.
- 5 姚茂和, 盛炜彤, 熊有强. 林下植被对杉木林地力影响的研究. 见: 盛炜彤主编. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- 6 张其水, 俞新妥. 杉木连栽林地混交林土壤酶的分布特征的研究. 见: 盛炜彤主编. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- 7 [美] 亚历山大 M (广西农学院农业微生物学教研组译). 土壤微生物学导论. 北京: 科学技术出版社, 1983.
- 8 杨玉盛, 俞新妥, 刘爱琴, 等. 杉木丰产林与松阔混交林土壤微生物和生化特性及土壤肥力差异的研究. 见: 盛炜彤主编. 人工林地力衰退研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- 9 维诺格拉德斯 C. H. (阎逊初译). 土壤微生物学问题和方法. 北京: 科学出版社, 1964.
- 10 杨承栋, 张小泉, 焦如珍, 等. 杉木连栽土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响. 林业科学. 1996, 32(2): 175 ~ 181.

# The Change of Undergrowth, Soil Microorganism, Enzyme Activity and Nutrient in Different Developing Stage of the Chinese Fir Plantation

*Jiao Ruzhen Yang Chengdong Tu Xingnan Sheng Weitong*

**Abstract** With the reduction of undergrowth coverage in Chinese fir plantation from juvenile to mideum plantation, the amount of soil microorganism, bacteria, fungi, actinomycetes and the soil enzyme activity especially the proteinase, phosphorylase, sucrase and the organic nutrient content cut down rapidly. With the increase of undergrowth coverage in Chinese fir plantation from mideum to mature plantation, the amount of soil microorganism, bacteria and the soil enzyme activity especially the proteinase, phosphorylase, sucrase and the organic nutrient content went up gradually. Due to the reduction of phosphorylase and hydrogen peroxidase causing the accumulation of poison as phenolic compounds in the soil of medium plantation. Maybe this is one of the causes for the yield reduction or low survival rate in successive rotation of Chinese fir.

**Key words** Chinese fir plantation developing stage undergrowth soil microorganism soil enzyme activity soil nutrient

---

Jiao Ruzhen, Assistant Professor, Yang Chengdong, Tu Xingnan, Sheng Weitong (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091).