

## 杉木观光木混交林细根分布

杨玉盛<sup>1,2</sup> 陈光水<sup>1</sup> 何宗明<sup>1</sup> 陈银秀<sup>1</sup> 黄荣珍<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 南平 353001; 2. 厦门大学生物学博士后流动站, 福建 厦门 360005)

**摘要:** 对 27 年生混交比例为 2 行杉木和 1 行观光木的混交林和杉木纯林群落细根分布的研究表明, 杉木和观光木行间的杉木细根密度虽比杉木与杉木行间的低 8.5%, 但观光木细根密度则高 152.09%, 其细根总密度比杉木与杉木行间的大 10.43%。混交林中杉木各径级活细根密度呈单峰型分布, 均以 5-10 cm 土层最大, 而观光木各径级活细根主要分布在 0-10 cm 土层内。纯林杉木各径级活细根密度亦基本呈单峰型分布, 但峰值出现在 10-20 cm 或 20-30 cm 土层。不同树种不同径级死细根的分布均与其各自的活细根分布相似。混交林中灌木细根密度在 30-40 cm 的上层最大, 而纯林中的灌木细根集中于 0-10 cm 的表土层; 混交林和纯林中的草本细根均集中在 0-5 cm 土层。与纯林的相比, 混交林中杉木细根主要分布的土层明显上移, 表层土壤细根所占比重增大, 有利于更好利用土壤养分和提高群落生产力。

**关键词:** 杉木; 观光木; 混交林; 细根密度

**中图分类号:** S791.27.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3395(2002)02-0111-07

## Distribution of Fine Roots in a Mixed *Cunninghamia lanceolata*-*Tsoongiodendron odorum* Plantation

YANG Yu-sheng<sup>1,2</sup> CHEN Guang-shui<sup>1</sup> HE Zong-ming<sup>1</sup> CHEN Yin-xiu<sup>1</sup> HUANG Rong-zhen<sup>1</sup>

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353001, China;

2. Post-doctoral Station of Biology, Xiamen University, Xiamen 360005, China)

**Abstract:** Fine roots were measured by soil core sampler in a mixed plantation of 27-year-old *Cunninghamia lanceolata* (C) and *Tsoongiodendron odorum* (T) in Fujian Province. Fine root density of C at interrow between C and T was lower by 8.5% than that between C and C, but fine root density of T and total fine root density were higher by 152.09% and 10.43%, respectively. High density of living fine roots with different thickness of C in mixed plantation appeared at 5-10 cm soil depth, whereas that of T at 0-10 cm. Compared to mixed plantation, living fine root density in pure C plantation appeared at 10-30 cm of soil depth. The distribution of dead fine roots had the same pattern. In mixed plantation, upward trend of soil layer with maximum fine roots of C was obvious, showing that mixed plantation had an advantage over pure plantation in nutrient absorption.

收稿日期: 2001-07-30 接受日期: 2001-12-07

基金项目: 中国博士后科研基金项目(1999-10); 福建省科委重大基础研究项目(2000-F-004); 高等学校骨干教师资助计划项目; 福建省自然科学基金项目(B0110025)

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; *Tsoongiodendron odorum*; Mixed plantation; Fine root density

细根是森林生态系统生物量中极为活跃的部分,在森林生态系统物质循环和能量流动中起着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。乔木细根生长与分布受土壤物理性质(土壤质地、土壤容重、土壤孔隙度等)及局部的化学性质差异(养分异质性等)深刻影响,而在多树种群落中,为了减少竞争和更有效利用资源,根系特别是细根存在着空间分布和时间动态上的分异<sup>[2]</sup>。国外对细根分布的研究较多<sup>[1-6]</sup>,而国内仅见对杉木火力楠混交林根系分布,落叶松水曲柳混交林、红松白桦胡桃楸人工促进天然混交林群落、白桦胡桃楸天然次生林等吸收根空间分布的报道<sup>[7-10]</sup>。本课题组自 1999 年 1 月始对福建三明 27 年生的杉木观光木混交林和杉木纯林两个相邻的群落的细根进行调查,部分成果已有报道<sup>[11,12]</sup>。本文报道混交林和纯林群落及混交林中两树种细根分布特点差异,试图从细根分布角度,揭示杉木观光木混交林高生产力的机制。

## 1 试验地概况

试验地位于福建三明福建林学院莘口教学林场小湖工区(北纬 26°11'30", 东经 117°26'00"),属中亚热带季风型气候,年均气温 19.1℃,年均降水量 1 749 mm,年均蒸发量 1 585.0 mm,年均相对湿度为 81%,无霜期 300 d 左右,土壤是由砂页岩发育的红壤。1973 年用实生苗造林,初植密度为 3 000 株  $\text{hm}^{-2}$ ,混交林为行间混交(杉木与观光木比例为 2:1),杉木和观光木现保留密度分别为 907 株  $\text{hm}^{-2}$  和 450 株  $\text{hm}^{-2}$ ,其中杉木的平均树高( $H$ )为 20.88 m,平均胸径( $D$ )为 25.1 cm,观光木  $H$  为 17.81 m,  $D$  为 17.0 cm,郁闭度为 0.95,林下植被盖度 80%。杉木纯林现保留密度为 1 100 株  $\text{hm}^{-2}$ ,  $H$  为 19.3 m,  $D$  为 23.6 cm,郁闭度为 0.80,林下植被盖度 95%。

## 2 研究方法

### 2.1 乔木细根的测算

分别在混交林和纯林中各设立 3 块 20 m × 20 m 固定标准地。从 1999 年 1 月底起隔月用自行设计的钢制土钻(内径 6.8 cm)于杉木观光木混交林和杉木纯林各标准地随机钻取土芯,将土芯分为 0-5、5-10、10-20、20-30、30-40、40-60、60-80 和 80-100 cm,表示土层。每个林分每次共取土芯 30 个,编号后分别用塑料袋装好,带回小湖工区的简易实验室内,放在土壤套筛上,用自来水浸泡、漂洗、过筛,拣出直径 < 2 mm 的细根。分出树种根和林下植被根(包括灌木和草本),并根据根系外形、颜色、弹性来区分活死根。杉木活细根弹性好,颜色较白,剥开外皮后可见新鲜的棕色内皮,而死根较柔软、无弹性,颜色为灰色或灰黑色,内皮颜色呈暗棕色。观光木活根呈白色半透明,鲜嫩,圆满,易折断,死根较柔软,伴有一定程度的腐烂,颜色灰白,不透明。林下植被活细根一般颜色较浅,弹性亦较好,而死根一般颜色较暗,无弹性等。分选出活、死细根后,用游标卡尺准确计量直径分别为 2 mm、1 mm、0.5 mm 的细根制成 3 个径级的标准样,进行目视分级,进一步归为 1-2 mm、0.5-1 mm、< 0.5 mm 三组。将细根置于 80℃烘箱中烘干

至恒重后称重。按以下公式计算各土层细根生物量现存量:细根现存量( $t\text{ hm}^{-2}$ )= 平均每根土芯根干重( $g$ ) $\times(t/10^6g)/(\pi(6.8\text{cm}/2)^2\times(\text{hm}^2/10^8\text{cm}^2))$ 。利用 1999 年全年不同土层乔木层各树种细根生物量现存量的平均值推算各土层细根的密度( $g\text{ m}^{-3}$ )。

2000 年 7 月,在杉木观光木混交林各标准地内中部选择 1 行观光木及与其左边相邻的 2 行杉木和右边相邻的 2 行杉木,分别在杉木与观光木行间、杉木与杉木行间中部各取 30 个土芯,按上述相同处理程序测定各土芯的细根量,并换算为各土层细根密度( $g\text{ m}^{-3}$ )。

## 2.2 灌木和草本细根的测算

2000 年 7 月在各林分中随机布设 10 个  $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$  的小样方,进行与上述相同层次分层挖掘收集根系(未区别死、活根),根据植株地上部分进行仔细辨别灌木和草本细根。带回室内,用水浸泡、漂洗,去除  $>2\text{ mm}$  根,置于  $80^\circ\text{C}$  烘箱中烘干至恒重后称重,计算各土层中灌木和草本细根密度( $g\text{ m}^{-3}$ )。

# 3 结果和讨论

## 3.1 细根分布特点

### 3.1.1 水平分布

杉木和观光木行间的杉木细根密度( $320.18\pm 49.86\text{ g m}^{-3}$ )仅比杉木与杉木行间的( $349.92\pm 45.99\text{ g m}^{-3}$ )低 8.5% ( $P<0.01$ );假设杉木与杉木行间的杉木细根密度是由两行杉木相同作用的结果,则换算后杉木与杉木行间的单行杉木细根密度为  $174.96\text{ g m}^{-3}$  远低于杉木与观光木行间的杉木细根密度。这主要是因为杉木与杉木行间的杉木细根之间产生相互竞争;而观光木和杉木行间由于树种生物学特性的差异以及起伴生作用的观光木的存在,促进了杉木细根的生长。观光木与杉木行间的观光木细根密度( $117.85\pm 19.50\text{ g m}^{-3}$ )则比杉木与杉木行间的观光木细根密度( $46.75\pm 9.64\text{ g m}^{-3}$ )高 152.09% ( $P<0.01$ )。虽然一般认为林木细根的分布可达数倍的树冠距离之外<sup>[3]</sup>,但处于两行杉木之间的观光木细根密度还是比杉木与观光木行间的细根密度小。从细根总密度看,观光木与杉木行间的达  $438.03\text{ g m}^{-3}$ ,而两行杉木间为  $396.67\text{ g m}^{-3}$ ,前者的细根密度比后者的高 10.43%。另据研究,杉木观光木混交林细根的现存量( $5.381\text{ t hm}^{-2}$ )比杉木纯林的( $4.584\text{ t hm}^{-2}$ )增加 17.4%,这表明杉木和观光木混交促进了细根的生长,这亦是杉木观光木混交林的生产力比杉木纯林高的原因之一<sup>[13]</sup>。

### 3.1.2 活细根与死细根垂直分布

混交林中杉木活细根( $1-2\text{ mm}$ 、 $0.5-1\text{ mm}$ 、 $<0.5\text{ mm}$ )密度最大值均出现在 5-10 cm 土层,但随土层厚度增加逐渐下降,其中  $0.5-1\text{ mm}$  细根在 10-20 cm 土层即有明显下降,而  $<0.5\text{ mm}$  细根在 40-60 cm 土层才开始明显下降, $1-2\text{ mm}$  细根则有所波动(图 1A)。混交林中观光木活细根( $0.5-1\text{ mm}$ 、 $<0.5\text{ mm}$ )密度最大值亦出现在 5-10 cm 土层,而  $1-2\text{ mm}$  活细根最大值则出现在 0-5 cm 土层。与杉木活细根分布不同的是,观光木活细根主要分布在 0-10 cm 土层内,其中尤以  $0.5-1\text{ mm}$  及  $<0.5\text{ mm}$  细根为明显,并随土层厚度增加急剧下降(图 1B)。这表明 0-10 cm 土壤是混交林乔木根系

活动最活跃的层次。

纯林杉木活细根密度在 10-20 cm (0.5-1 mm 及 < 0.5 mm 细根) 或 20-30 cm (1-2 mm 细根) 土层最大 (图 1C), 并随土层厚度增加逐渐降低 (除 < 0.5 mm 细根密度在 60-80 cm 土层外)。与混交林的相比, 杉木纯林根系活动最活跃的层次下移。

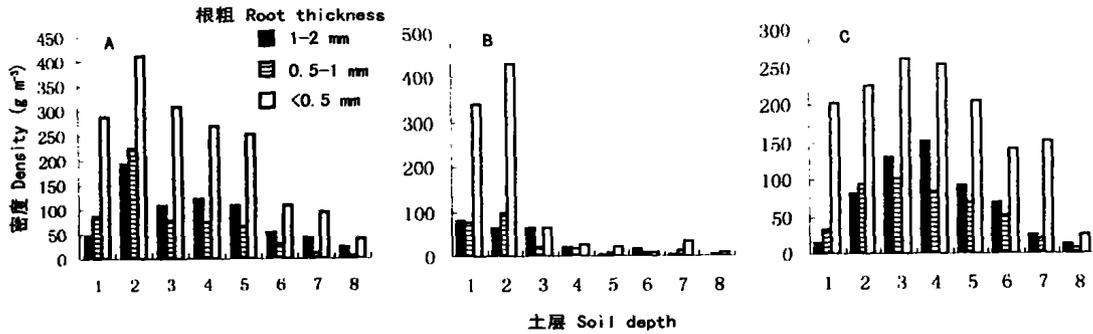


图 1 不同土层活细根垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of living fine roots at different soil depth

A. 混交林杉木 *Cunninghamia lanceolata* in mixed forest; B. 混交林观光木 *Tsongiodendron odorum* in mixed forest; C. 纯林杉木 *Cunninghamia lanceolata* in pure forest; 1-8 分别表示 0-5、5-10、10-20、20-30、30-40、40-60、60-80 和 80-100 cm 土层, 下同。1-8 for soil depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm, respectively.

不同树种不同径级死细根的分布均与其各自的活细根分布相似, 活细根密度最大的层次, 其死细根密度亦最大 (图 2), 这与该层根系旺盛的代谢活动而引起细根大量死亡有关。混交林死细根大量密集于表土层, 与凋落物一道, 通过微生物进一步分解将产生较好的自我培肥地力作用。

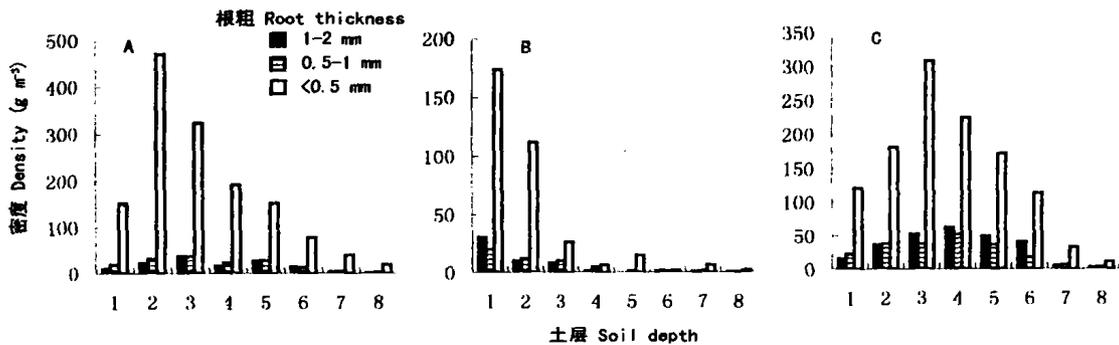


图 2 不同土层死细根垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of dead fine roots at different soil depth

For A, B and C, and for 1-8 see Fig. 1.

混交林中杉木活细根与死细根的垂直分布均呈单峰型, 并以 5-10 cm 土层的细根密度最大 (图 3A); 观光木活细根垂直分布呈双峰型, 峰值出现在 5-10 cm 和 60-

80 cm 土层,而死细根密度则基本随土层厚度增加而急剧下降(图 3B)。表层土壤(0-20 cm)是杉木和观光木细根分布最为集中、活动最为活跃的区域。纯林杉木活和死细根密度垂直分布亦基本呈单峰型,而峰值出现在 20-30 cm 土层(图 3C)。

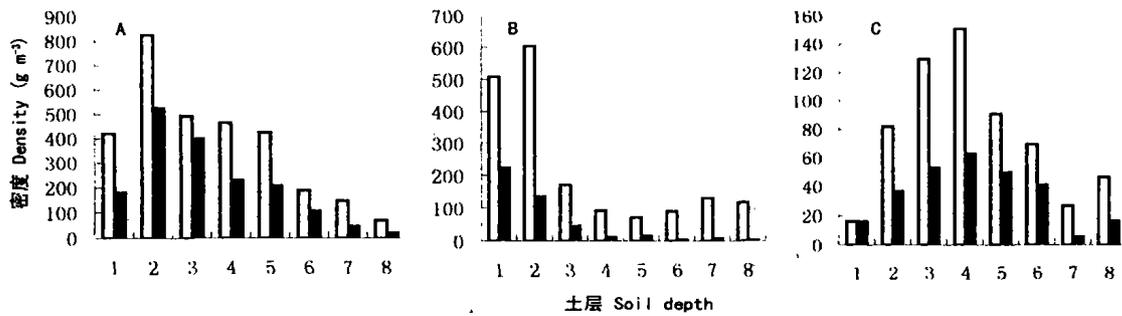


图 3 不同土层总活细根和总死细根的垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of total living and dead fine roots at different soil depth  
□活根 Living roots; ■死根 Dead roots; For A, B and C, and for 1-8 see Fig. 1.

### 3.1.3 细根总量垂直分布

混交林中杉木总细根密度垂直分布呈单峰型,最大值出现在 5-10 cm 土层,后随土层厚度增加逐渐减少;而观光木呈双峰型,以 0-10 cm 土层细根密度最大,随深度增加迅速减小,至 30-40 cm 土层出现一低值,随后有所上升,60-80 cm 土层中又出现一较大值(图 4)。这表明混交林中杉木和观光木细根均主要分布在表层土壤(0-20 cm),其中观光木尤为明显,这与混交林表层土壤肥力较高和细根的趋肥性有关。但随着土层加深,土壤养分供应量下降,观光木在对养分竞争性吸收过程中处于弱势,细根密度迅速减小,而在更深土层(60-80 cm)中观光木细根密度的增加则与杉木细根密度减小有关(图 4)。混交林中杉木和观光木细根在垂直分布上具有一定的镶嵌性。

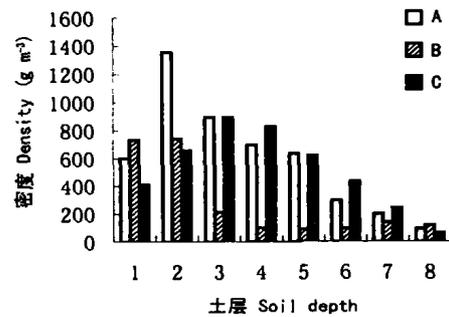


图 4 不同土层总细根的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of total fine roots at different soil depth  
For A, B and C, and for 1-8 see Fig. 1.

纯林杉木细根垂直分布呈单峰型,最大值出现在 10-20 cm 土层,随着土层深度加大,细根密度逐渐减少,细根在各土层中分布相对比较均匀,与混交林中杉木细根分布相比较,纯林中细根主要分布层次下移(图 4)。0-20 cm 土层混交林杉木和观光木细根数量分别占细根总数的 59.74% 和 75.46%,而纯林杉木仅占 47.27%; 0-20 cm 土层混交林乔木(杉木和观光木)细根数量占乔木细根总数的 67.6%,远高于纯林的。这与杉木纯林凋落物分解过程中产生的化感物质可能对细根生长有一定抑制作用有关<sup>[14, 15]</sup>;而混交林中由于引进了观光木,其凋落物化学组成中可溶性物质、粗蛋白等含量远高于杉木纯林的,从

而有利于凋落物分解,促进表层土壤肥力提高,细根密集于表层土壤,有利于高效地利用凋落物分解过程中释放的养分,这可能是混交林中杉木生长比纯林杉木快的主要原因之一。

### 3.2 混交林中杉木和观光木细根数量分布相关分析

对 1999 年各次取的混交林不同土层杉木和观光木活细根数量进行相关分析,结果表明 0-5 cm 和 5-10 cm 土层的杉木和观光木细根数量之间相关系数很小,说明 0-10 cm 土层内,杉木和观光木细根之间相互竞争较弱(表 1),这是由于混交林表层土壤的养分富集,能满足分布于该层的杉木和观光木细根生长。但在 10 cm 土层以下,杉木和观光木细根数量均表现负相关,在 20-30 cm 土层达显著水平,说明杉木与观光木细根之间存在着不同程度的相互排斥作用。

表 1 混交林不同土层杉木与观光木活细根数量的相关分析

Table 1 Correlation analysis of the amount of living fine roots between *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum* in a mixed plantation

土层 Soil depth (cm)	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
相关系数 Correlation coefficient	0.008936	-0.03823	-0.23023	-0.44451*	-0.22085	-0.23761	-0.21624	-0.1012

\* 相关关系显著 ( $P < 0.05$ )

### 3.3 林下植被细根的垂直分布

混交林灌木细根密度在 0-30 cm 土层较少,而在 30-40 cm 处则迅速增加至最大值,该层占灌木层细根总量的 74.0%,后又迅速减少;纯林灌木细根集中于表层 0-10 cm,其数量占灌木层总细根量的 91.1%,之后随土层深度加大而迅速减少。混交林与纯林灌木细根分布差异可能与其乔木细根分布差异有关。混交林中 0-20 cm 土层乔木细根密度大,而 30-40 cm 土层相对较小;纯林中 0-10 cm 土层杉木细根密度相对较小,而 10-20 cm 土层细根密度较大(图 4)。由此可见,群落中乔木层和灌木层细根的垂直分布亦呈一定的镶嵌性。混交林和纯林草本层细根垂直分布相似,细根密度均在 0-5 cm 处最大,分别占草本层总细根量的 79.4%和 58.0%,之后随土层深度的增加,草本细根量迅速减少。

### 3.4 群落细根总量的垂直分布

混交林和纯林群落细根密度均在 5-10 cm 土层最大,之后除了混交林总细根密度在 30-40 cm 土层有所上升外,两者均随土层的加深而减小。0-20 cm 土层中混交林的细根密度均比纯林的高,特别是 0-5 cm 土层,而 20 cm 以下与纯林相近或更高。表层 0-20 cm 混交林群落的细根数量占群落总细根量的 49.17%,而纯林的则为 44.52%。混交林群落细根更多地集中于表层土壤,这对有效地利用和保持凋落物分解释放的养分有很大的意义。

### 参考文献:

- [1] McClaugherty C A, Aber J D. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems

- [J]. *Ecol*, 1982, 63:1481-1490.
- [2] Hendrick R L, Pregitzer K S. The relationship between fine root demography and the soil environment in northern hardwood forests [J]. *Ecosci*, 1997, 4 (1):99-105.
- [3] Persson H. Spatial distribution of fine root growth, mortality and decomposition in a young scots pine stand in Central Sweden [J]. *Oikos*, 1980, 34:77-87.
- [4] Bauhus J, Messier C. Soil exploitation strategies of fine roots in different tree species of the southern boreal forest of eastern Canada [J]. *Can J For Res*, 1999, 29 (2):260-273.
- [5] Volker B, Christoph L. Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak-beech forest [J]. *For Ecol Manag*, 1994, 70:11-21.
- [6] Christoph L. Root competition between beech and oak: a hypothesis [J]. *Oecologia*, 2001, 126(2):276-284.
- [7] 李振问, 杨玉盛. 杉木、火力楠混交林根系的研究 [J]. *生态学杂志*, 1993, 12(1):20-24.
- [8] 廖利平, 杨跃军, 汪思龙, 等. 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠 (*Michelia macclurei*) 纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还 [J]. *生态学报*, 1999, 19 (3):342-346.
- [9] Cui X Y. Spatial patterns of fine root abundance in mixed larch-ash plantation [J]. *J For Res*, 1997, 8(4):206-210.
- [10] 崔晓阳. 东北森林氮素营养的生态学—土壤环境、树种行为及氮营养生态位 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1996. 62-153.
- [11] Yang Y S, Chen G S, Xie J S, et al. Dynamics of nitrogen and phosphorus concentrations of fine roots in a mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum* [J]. *J For Res*, 2001, 12(2):105-108.
- [12] 陈光水, 林瑞余, 卢镜铭, 等. 杉木观光木混交林细根灰分含量和热值动态 [J]. *福建林学院学报*, 2001, 21(4): 332-335.
- [13] 陈光水. 杉木观光木混交林群落细根生态学研究 [D]. 福建农业大学硕士学位论文. 南平: 福建农林大学, 2001
- [14] 林思祖, 黄世国, 曹光球, 等. 杉木自毒作用的研究 [J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6):661-664.
- [15] 杨玉盛, 俞新妥, 邱仁辉, 等. 不同栽杉代数根际土壤生物学活性及肥力的研究 [J]. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(3):254-258.