

文章编号: 1001-1498(2003)04-0377-09

# 杉木人工林的土壤性质变化

盛炜彤, 杨承栋, 范少辉

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 系统研究和分析了不同代、不同发育阶段杉木林的土壤物理性质、化学性质和生物特性的变化过程, 揭示了杉木人工林随着栽植代数增加(2~3代), 土壤物理性质变劣, pH值下降, 养分含量降低, 速效P和水解N的下降尤为明显, 微生物区系及酶活性也朝着生物活性下降的方向变化, 也反映出杉木人工林不同发育阶段土壤肥力的差别。一般从幼龄林到中龄林土壤肥力呈下降趋势, 到了成熟林阶段土壤肥力稍有上升, 但不能恢复到原来的状态。在现行栽培制度下, 杉木人工林连作能导致土壤功能衰退, 这是杉木人工林不能保持长期生产力的主要原因之一。

**关键词:** 杉木人工林; 土壤性质; 土壤肥力; 生产力

**中图分类号:** S791.27      **文献标识码:** A

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)人工林大多由天然阔叶林砍伐后人工种植形成, 由于杉木人工林群落与天然阔叶林在组成树种、活地被物种类、群落结构、生物多样性方面均存在很大差别, 并由于经营人工林时的人为干扰, 使林下土壤在物理性质、化学性质及生物学特性方面发生了一系列的深刻变化。杉木人工林通常由于树种及群落结构的单一性, 加之人为的严重干扰, 使得土壤肥力向着不利于林木生长的方向变化, 从第1代阔叶林砍伐、火烧清林、造林整地开始, 直到第2代、第3代, 土壤肥力总的发展趋势是不断恶化<sup>[2~7]</sup>。本文系统地研究了从花岗岩发育的黄红壤(福建南平)及从板页岩发育的黄红壤(江西分宜中国林科院亚林中心)上杉木人工林不同发育阶段和第2代、第3代人工林的土壤性质变化, 揭示了土壤功能退化的原因机制。

## 1 研究区域的自然概况

研究分二个区域进行, 一是福建南平, 属中亚热带, 低山丘陵地形, 年均气温 18.7℃, 年降水量 1 670 mm, 年均相对湿度 81%, 地带性植被为常绿阔叶林, 土壤为白云母中细粒花岗岩发育的山地暗红壤, 土层厚度在 100 cm 以上。主要林下植被有黄瑞木(*Adinandra mellatti* (Hook. et Arn.) Benth)、狗脊(*Woodwardia japonica* (L. F.) Sm.)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Labill) Warb.)和芒萁(*Dicranopteris olichotoma* (Thunb.) Bernh.)等; 二是江西分宜中国林科院亚热带林业实验中心上村林场、年珠林场以及山下林场, 属中亚热带, 低山丘陵地形, 年均气温 15.8~17.7℃, 年均降水量 1 591 mm, 地带性植被为常绿阔叶林, 土壤为板页岩风化物发育的山地

收稿日期: 2003-03-11

基金项目: 国家自然科学基金重点课题“杉木、桉树人工林长期保持机制的研究”的主要研究内容之一(批准号 39630240)

作者简介: 盛炜彤(1933—), 男, 江苏海门人, 研究员。

黄红壤。林下植被以蕨木(*Loropetalum chinense* (R. Br.) Oliver)、狗脊和芒萁为主。

## 2 研究方法

**样地设置:**选择不同立地(以第1代林的14、16、18地位指数为准)、不同栽植代数、不同林龄(幼龄林、中龄林与成熟林)的杉木人工林设置样地,每个样地3个重复。

**林分调查:**样地面积400~500 m<sup>2</sup>,林木株数70株以上,每木检测(胸径、树高),同时测5株优势木高。

**土壤调查与取样:**除按常规方法调查土壤剖面外,其中三个重复样地中一个样地土壤样品按0~20、20~40、40~60 cm三层采取,分析其理化性质。另取一个0~40 cm的混合样,供土壤生化活性、有机质和微生物分析。其余二个样地的土壤样品按0~20、20~40 cm二层采取,供理化性质分析。土样采集时在样地内机械布设6个点,用土钻取混合样品,土壤样品采于1998年5月份。

**土壤样品分析:**土壤物理性质测定土壤水分物理常数;土壤化学性质测定pH值、速效N、速效P、速效K、全N、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Mn;土壤酶活性测定多酚氧化酶、过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶、蛋白酶5种;土壤微生物测定土壤微生物类群(或生物量)。土壤理化性质的测定均按《森林土壤分析方法》(林业行业标准)进行。

## 3 结果与分析

### 3.1 1代杉木人工林不同发育阶段的土壤性质变化

主要研究了从常绿阔叶林、杉木幼龄林、中龄林、成熟林4个时间段的土壤性质变化。在江西分宜中国林科院亚林中心年珠林场,测定了具有相似立地条件的9年生杉木人工林和次生常绿阔叶林下的土壤化学性质,并进行了比较。9年生杉木人工林土壤有机质下降了14.66%,速效P下降12.28%,速效K下降10.41%,速效N和Mg<sup>++</sup>含量与常绿阔叶林土壤相近,Ca<sup>++</sup>有较大幅度增加,达到232.81%。说明从常绿阔叶林到杉木幼龄林阶段,土壤有机养分和大部分无机养分有不同程度的下降。亚林中心杉木人工林不同发育阶段土壤养分分析表明,杉木人工林在幼龄林阶段,有机养分及有效养分含量较高,中龄林时为最低,到成熟林时又有所回升。表1反映了这种变化状况。按照杉木人工林土壤养分诊断标准<sup>[1]</sup>,幼龄林水解N是在临界值之上,中龄林和成熟林均在临界值之下,成熟林比中龄林稍高。分别对上村林场6个间伐固定样地的11年生及19年生杉木林土壤养分含量进行了测定,6个样地的水解N、速效P在19年生时均下降了,水解N平均下降了30.12%,由最适值下降到接近临界值。速效P平均下降了20.2%,使P的供应更加不足。福建南平的研究结果表明,1代中龄林的速效P含量比幼龄林及成熟林的低。

表1 亚林中心杉木人工林不同发育阶段  
0~40 cm土壤养分变化趋势

| 地点   | 样地号    | 林龄/a | 有机质/(g kg <sup>-1</sup> ) | 水解N/(mg kg <sup>-1</sup> ) | 速效P/(mg kg <sup>-1</sup> ) | 速效K/(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|------|--------|------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 上村林场 | 94-上7  | 7    | 31.08                     | 80.61                      | 0.40                       | 61.65                      |
|      | 94-上18 | 18   | 23.10                     | 67.41                      | 0.35                       | 33.37                      |
|      | 94-上24 | 24   | 28.54                     | 75.48                      | 0.29                       | 37.57                      |
| 年珠林场 | 94-年4  | 4    | 27.46                     | 108.57                     | 1.18                       | 59.55                      |
|      | 94-年15 | 15   | 17.04                     | 68.09                      | 0.27                       | 51.29                      |
|      | 94-年25 | 25   | 21.69                     | 62.42                      | 0.44                       | 54.34                      |

不同林龄阶段除速效养分存在一定差别外,土壤三大类微生物及土壤酶活性也均存在差别。中龄林的微生物总数、细菌数量均明显低于幼龄林和成熟林。中龄林时,土壤蛋白酶、蔗糖酶、磷酸酶活性明显下降。过氧化氢酶、脲酶及多酚氧化酶在中龄林和成熟林也是下降的。研究表明,根际土壤的有机质、水解N和速效P等均比非根际土壤有所提高,但在中龄林阶段上述养分的含量均相对较低,成熟林比中龄林虽有所上升,但与幼龄林阶段相比还是下降的。 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 的含量从幼龄林到中龄林是下降的,从中龄林到成熟林也继续呈下降趋势。根际和非根际土壤中的三大类微生物数量,从幼龄林到中龄林是逐渐减少的,到近熟林时稍有所上升。根际土壤中的固N菌、巨大芽孢杆菌数量在中龄林和幼龄林阶段明显比非根际土壤的少,幼龄林根际土壤中青霉属所占真菌的百分数、白色类群所占放线菌的百分数均比非根际土壤的高,在中龄林土壤中尤为明显。根际和非根际土壤中蔗糖酶、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 酶、蛋白酶、脲酶活性的下降主要发生在幼龄林到中龄林阶段,到近熟林阶段,尽管土壤酶活性有所恢复和提高,但仍低于幼龄林时期的土壤酶活性。非根际土壤多酚氧化酶活性从幼龄林至中龄林呈下降趋势,从中龄林至成熟林呈上升趋势;根际土壤多酚氧化酶活性则相反,从幼龄林至中龄林呈上升趋势,从中龄林至成熟林呈下降趋势。从以上根际区域范围内的土壤养分、土壤微生物种类、土壤酶活性分析可以看出,杉木人工林在中龄林时期土壤肥力有所下降,而到成熟林时稍有不同程度的恢复。

### 3.2 连栽杉木人工林土壤性质变化

3.2.1 土壤物理性质改变 对亚林中心15个样地,包括不同林龄阶段和不同代林分的土壤物理性质,土壤养分及土壤酶等23项指标的主分量分析,土壤物理性质在第一主分量占有较大的负荷量,表明土壤物理性质在第1代及第2代林之间,以及不同林分发育阶段之间存在较大的变化。表2表明,第2代杉木林土壤密度普遍增加,毛管持水量及非毛管孔隙度下降。

表2 亚林中心不同立地条件1、2代杉木中龄林土壤物理性质比较

| 立地条件 | 代 | 土壤容重/<br>( $\text{g cm}^{-3}$ ) | 毛管持水量/<br>% | 总孔隙度/<br>% | 非毛管孔隙/<br>% |
|------|---|---------------------------------|-------------|------------|-------------|
| 差    | 1 | 1.126                           | 46.17       | 58.21      | 6.74        |
|      | 2 | 1.402                           | 47.93       | 59.46      | 6.38        |
| 中    | 1 | 1.062                           | 52.76       | 57.34      | 6.16        |
|      | 2 | 1.317                           | 37.52       | 53.62      | 5.59        |
| 好    | 1 | 1.180                           | 50.75       | 56.71      | 7.08        |
|      | 2 | 1.222                           | 35.94       | 56.21      | 7.02        |

注:差、中、好立地相当于第1代12、14及16地位指数立地

福建南平16地位指数的杉木林各层(0~20、20~40、40~60 cm)的土壤容重是随着连栽代数增加而增加的,如2代林0~20、20~40 cm的土壤容重分别比1代林增加了0.40、0.25  $\text{g cm}^{-3}$ ;3代林分别较1代林增加了0.48、0.09  $\text{g cm}^{-3}$ 。14地位指数不同代数的土壤容重与此类似。16地位指数1代中龄林的0~20、20~40 cm土层的土壤容重分别为0.92、1.09  $\text{g cm}^{-3}$ ,2代林分别为1.32、1.34  $\text{g cm}^{-3}$ ,3代林分别为1.40、1.18  $\text{g cm}^{-3}$ ,总的趋势是土壤容重增加,非毛管孔隙度下降,土壤变得坚实。杉木的根系穿插能力较弱,杉木根系发育对土壤容重很敏感。盛炜彤研究认为杉木最适土壤容重为1.10  $\text{g cm}^{-3}$ 以下,1.10~1.25  $\text{g cm}^{-3}$ 生长受影响,超过1.30  $\text{g cm}^{-3}$ 则生长不良。因此连栽杉木林土壤容重的提高,对杉木生长明显不利,在比较粘重的板页岩风化物发育的土壤上更为明显。

由于连栽林分土壤容重增加,非毛管孔隙度下降,导致土壤渗透性能下降。总的趋势是杉木2、3代林土壤渗透速度和渗透系数均较1代的低。如2代杉木成熟林0~20 cm土壤的渗透

速度和渗透系数分别比1代林下降了98.34%和98.53%,3代林较1代林分别下降了97.23%和97.06%。

土壤水分性能是土壤物理性质中的重要因素,是土壤肥力的重要标志。测定表明,16地位指数杉木中龄林表土层(0~20 cm)的最大持水量、毛管持水量和最小持水量均随栽植代数的增加而下降。如2代林0~20 cm土层较1代林分别下降了24.3%、23.14%和24.67%,3代林较1代林分别下降了39.65%、43.75%和42.75%,20~40 cm土层也有类似趋势。

### 3.2.2 土壤化学性质的改变

#### 3.2.2.1 土壤养分的改变

杉木对土壤养分的要求较高,特别是有效养分供应直接影响到林木生长。张建国等<sup>[1]</sup>认为,杉木林有效N的适宜值为 $145 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,这个值要在16地位数及其以上立地才能达到,临界值为 $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,缺乏值为 $35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;而有效P最适值为 $13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,临界值为 $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,缺乏值为 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。土壤养分的任何改变都会影响到林木的生产力,尤其是P,杉木林土壤P含量多半是不足的,是林木生长的限制因素之一。

表3表明,2代林土壤有机质含量是降低的,2代林比1代林下降了2%~20%;2代林的全N、全P、全K也比1代林的低,说明2代林土壤养分总量在下降,下降幅度大体是全N 12%~24%,全P 3%~36%,全K 4%~6%,但速效养分的下降幅度远大于全量,如水解N下降了11%~33%,速效P下降了2%~47%,速效K下降了8%~30%。福建南平的研究表明(表4),16地位指数的2、3代杉木幼林表层土的速效P与K较1代林的低,如2代林分别较1代林降低了47.16%和34.26%,3代林分别较1代林降低了41.68%和22.55%,14指数的幼龄林也有类似情况。对于16地位指数的中龄林,2代林除速效K略有增加外,其它养分均有下降。3代林0~20 cm土层的有机质、全N、水解N较1代林分别降低了43.9%、15.1%和28.86%。国外研究认为,森林收获对土壤有机质、N有不利影响<sup>[9]</sup>,连栽林地经多次收获更不利于土壤有机质和N等养分的保持。

表3 江西分宜亚林中心1、2代杉木人工林下0~20 cm土层化学性质比较

| 地点   | 立地等级 | 代 | 有机质/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全N/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 水解N/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全P/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 速效P/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全K/<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 速效K/<br>( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) |
|------|------|---|---|--|--|--|--|--|--|
| 上村林场 | 差    | 1 | 39.95                                       | 1.06                                       | 69.66  | 0.53                                       | 1.58   | 11.11                                      | 5.72   |
|      |      | 2 | 32.31                                       | 0.86                                       | 69.63  | 0.46                                       | 1.37   | 14.42                                      | 4.41   |
|      | 中    | 1 | 31.55                                       | 1.19                                       | 108.52                                       | 0.47                                       | 1.99   | 12.73                                      | 6.21   |
|      |      | 2 | 31.51                                       | 0.94                                       | 72.97  | 0.30                                       | 1.95   | 11.92                                      | 5.47   |
|      | 好    | 1 | 43.15                                       | 1.13                                       | 109.28                                       | 0.39                                       | 2.87   | 9.83                                       | 7.81   |
|      |      | 2 | 42.28                                       | 1.12                                       | 96.43  | 0.38                                       | 1.51   | 8.85                                       | 5.47   |
| 年珠林场 | 差    | 1 | 27.05                                       | 0.92                                       | 66.80  | 0.47                                       | 1.47   | 10.69                                      | 4.97   |
|      |      | 2 | 21.86                                       | 0.70                                       | 52.57  | 0.36                                       | 1.02   | 10.50                                      | 4.57   |
|      | 中    | 1 | 23.38                                       | 0.96                                       | 82.99  | 0.45                                       | 1.57   | 11.65                                      | 5.56   |
|      |      | 2 | 22.98                                       | 0.75                                       | 58.09  | 0.29                                       | 1.46   | 11.31                                      | 4.42   |
|      | 好    | 1 | 35.03                                       | 1.00                                       | 89.54  | 0.38                                       | 2.57   | 8.83                                       | 6.20   |
|      |      | 2 | 33.25                                       | 0.88                                       | 79.41  | 0.37                                       | 1.40   | 8.44                                       | 4.43   |

南方的红黄壤原本普遍缺P,连栽使其含量更低,供应更加不足。在福建南平调查的不同地位指数(14、16、18)的不同代(1、2、3代)及不同发育阶段(幼龄林、中龄林及成熟林)速效P含量多是随着栽植代数的增加而下降,而且下降幅度较大(18指数变化不规律),达到16.6%~

73.0%,大多为 20%~35%(表 4)。杉木林土壤中的有效 P 含量远低于临界值,而连栽林地则离临界值更远,有的已接近缺乏值。江西亚林中心的调查结果与此是一致的,因此,有效 P 的缺乏是连栽林地生产力下降的主要原因。

3.2.2.2 土壤微量元素的改变 微量元素对杉木生长也有重要影响。福建南平点的调查结果表明,该地区杉木林土壤全 Fe 平均含量为 22.61 mg·kg<sup>-1</sup>,全 Mn 平均含量为 177.90 mg·kg<sup>-1</sup>,低于全国平均值(710 mg·kg<sup>-1</sup>),全 Cu 平均含量为 48 mg·kg<sup>-1</sup>,高于全国平均含量(27 mg·kg<sup>-1</sup>),全 Zn 平均含量为 130.29 mg·kg<sup>-1</sup>,比全国土壤全 Zn 平均含量(163 mg·kg<sup>-1</sup>)低 20.07%。有效 Fe 含量除底层土外一般较为丰富,平均含量为 12.88 mg·kg<sup>-1</sup>;有效 Mn 平均含量为 6.55 mg·kg<sup>-1</sup>,属很低水平。有效 Cu 平均含量为 0.700 mg·kg<sup>-1</sup>,远低于临界值(2.00 mg·kg<sup>-1</sup>);有效 Zn 平均含量为 1.39 mg·kg<sup>-1</sup>,低于临界含量(2.00 mg·kg<sup>-1</sup>)。杉木 16 地位指数的中龄林土壤中有有效态微量元素全量 Fe 较高,Mn、Cu 均较低,随着连栽代数增加,土壤有效 Fe、Mn 趋于增加,表层的土壤有效 Zn 也呈增加趋势,但土壤中有有效 Cu 和下层土(20~40 cm 以下)有效 Zn 含量趋于降低。如 2 代林 0~20、20~40 cm 土层有效 Cu 含量分别较 1 代林降低了 29.14%和 48.91%,3 代林分别比 1 代林下降了 27.70%和 39.29%。2、3 代林 20~40 cm 土层的有效 Zn 含量较 1 代林降低了 21.05%和 50.00%,杉木成熟林情况类似。这些均说明,连栽 2、3 代杉木土壤有效 Cu 及表土层之下土壤有效 Zn 将趋于更加不足。

3.2.2.3 根际土壤养分状况 福建南平的调查结果表明<sup>[8]</sup>,根际土壤与非根际土壤的养分状况有所不同,以 16 地位指数不同代数、不同林龄的林分样地情况为例,1、2 代中龄林根际土壤的有机质、全 N 相对富集,但在 3 代林根际土壤相对亏缺;1、2 代林根际土壤的水解 N 相对亏缺,但在 3 代林根际土壤中相对富集;对于杉木成熟林,有机质在 1、2 代根际土壤中相对富集,但在 3 代林根

表 4 福建南平不同连栽代数杉木林土壤速效 P 含量变化

| 立地条件 | 样地  | 不同土层的速效 P/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |          |      |      |
|------|-----|----------------------------------|----------|------|------|
|      |     | 0~20 cm                          | 20~40 cm | 均值   | 下降/% |
|      | 1-幼 | 3.50                             | 2.04     | 2.77 |      |
|      | 2-幼 | 2.25                             | 1.05     | 1.65 | 40.4 |
|      | 3-幼 | 3.24                             | 1.05     | 2.15 | 22.4 |
|      | 1-中 | 1.78                             | 5.23     | 3.51 |      |
|      | 2-中 | 4.96                             | 0.26     | 2.61 | 25.6 |
|      | 3-中 | 3.97                             | 0.78     | 2.38 | 32.2 |
|      | 1-成 | 4.49                             | 0.52     | 2.51 |      |
|      | 2-成 | 2.51                             | 0.89     | 1.70 | 32.3 |
|      | 3-成 | 2.25                             | 0.78     | 1.52 | 39.4 |
|      | 1-幼 | 4.75                             | 4.75     | 4.75 |      |
|      | 2-幼 | 2.51                             | 0.05     | 1.28 | 73.0 |
|      | 3-幼 | 2.77                             | 2.77     | 2.77 | 41.7 |
|      | 1-中 | 5.23                             | 1.25     | 3.24 | 16.7 |
|      | 2-中 | 5.49                             | 2.25     | 3.87 | 16.7 |
|      | 3-中 | 4.96                             | 0.52     | 2.51 | 22.5 |
|      | 1-成 | 3.76                             | 1.05     | 2.41 |      |
|      | 2-成 | 3.24                             | 0.26     | 1.75 | 27.4 |
|      | 3-成 | 3.24                             | 0.78     | 2.01 | 16.6 |

注:样地 1、2、3 为代数;幼、中、成为幼龄林、中龄林及成熟林;相当于第 1 代时为 14 地位指数级;相当于第 1 代时为 16 地位指数级;为增加%。

表 5 福建南平杉木林根际土与非根际土有效 P 比较  
mg·kg<sup>-1</sup>

| 立地条件 | 样地  | 根际土 非根际土 |       | 立地条件 | 样地    | 根际土 非根际土 |  |
|------|-----|----------|-------|------|-------|----------|--|
|      |     |          |       |      |       |          |  |
|      | 1-幼 | 3.762    | 3.801 | 1-幼  | 3.501 | 4.754    |  |
|      | 2-幼 | 1.045    | 2.247 | 2-幼  | 2.247 | 2.508    |  |
|      | 3-幼 | 0.000    | 3.232 | 3-幼  | 0.000 | 2.769    |  |
|      | 1-中 | 4.823    | 5.776 | 1-中  | 4.776 | 5.225    |  |
|      | 2-中 | 4.754    | 4.963 | 2-中  | 4.232 | 5.486    |  |
|      | 3-中 | 0.000    | 3.971 | 3-中  | 0.000 | 4.963    |  |
|      | 1-成 | 2.247    | 4.493 | 1-成  | 1.776 | 3.762    |  |
|      | 2-成 | 1.045    | 2.508 | 2-成  | 1.623 | 3.239    |  |
|      | 3-成 | 0.000    | 2.247 | 3-成  | 0.000 | 3.239    |  |

注:样地栏同表 4 注释。

际土壤中均相对亏缺;速效 P 在 2、3 代幼龄林、中龄林及成熟林土壤中均相对亏缺,特别是 3 代林(表 5)。土壤连栽后,表土层速效 P 含量本来就不高,而速效 P 在 2、3 代根际土壤的亏缺将进一步导致杉木土壤有效 P 的缺乏。

3.2.2.4 土壤酸度的改变 国外有许多针叶林是否引起土壤酸化的研究<sup>[10,11]</sup>,许多调查资料表明,杉木人工林也存在引起土壤酸化的问题,在根际土壤中尤其明显。土壤 pH 值的改变,影响微生物种群、酶活性、有机质的分解并直接影响到养分的有效性。江西分宜亚林中心的研究表明,不同立地条件的 2 代杉木林 pH 值都呈下降趋势,与之相关的土壤 Ca、Mg 的含量也下降(表 6)。

表 6 亚林中心上村、年珠林场 1、2 代杉木人工林下 0~20 cm 土层 pH 值与 Ca<sup>++</sup>、Mg<sup>++</sup> 含量

| 上村林场 |      |  |  | 年珠林场 |      |  |  |
|------|------|--|--|------|------|--|--|
| 立地条件 | pH 值 | Ca <sup>++</sup> /<br>(cmol l/2Ca <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> ) | Mg <sup>++</sup> /<br>(cmol l/2Mg <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> ) | 立地条件 | pH 值 | Ca <sup>++</sup> /<br>(cmol l/2Ca <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> ) | Mg <sup>++</sup> /<br>(cmol l/2Mg <sup>2+</sup> kg <sup>-1</sup> ) |
| 差-1  | 4.79 | 0.6  | 1.2  | 差-1  | 4.91 | 0.4  | 1.0  |
| 差-2  | 4.68 | 0.5  | 1.0  | 差-2  | 4.53 | 0.3  | 0.8  |
| 中-1  | 4.92 | 0.7  | 1.2  | 中-1  | 4.91 | 0.6  | 1.0  |
| 中-2  | 4.85 | 0.3  | 1.5  | 中-2  | 4.70 | 0.3  | 1.2  |
| 好-1  | 4.94 | 0.6  | 1.4  | 好-1  | 4.94 | 0.4  | 1.1  |
| 好-2  | 4.86 | 0.4  | 0.9  | 好-2  | 4.86 | 0.2  | 0.8  |

注:差、中、好立地相当于第 1 代为 12、14 及 16 地位指数立地

表 7 表明,不同代数杉木根际土壤的 pH 值均低于非根际土壤,幅度为 0.2~0.5,同时,除幼龄林外,2、3 代林的土壤 pH 值也均低于 1 代林,幅度为 0.2~0.4。可见杉木林的根际土壤是一个偏酸的环境,土壤酸度随栽植代数增加而增加,这主要是土壤胶体界面阴阳离子吸收不平衡所致。杉木在生长过程中要大量吸收土壤中的 K<sup>+</sup>、Ca<sup>++</sup>、Mg<sup>++</sup> 等矿质阳离子,从而导致杉木根际土壤胶体界面阳离子吸收量大于阴离子吸收量;杉木根系分泌的有机酸、CO<sub>2</sub> 或 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和微生物的分泌物也是杉木林根际土壤趋酸化的可能原因。

表 7 福建南平不同栽植代杉木林根际土壤与非根际土壤的 pH 值比较

| 立地条件 | 样地  | pH 值 |      | 立地条件 | 样地  | pH 值 |      |
|------|-----|------|------|------|-----|------|------|
|      |     | 根际土  | 非根际土 |      |     | 根际土  | 非根际土 |
| 1-幼  | 3.9 | 4.1  | 1-幼  | 3.8  | 4.0 | 4.0  |      |
| 2-幼  | 4.0 | 4.1  | 2-幼  | 4.1  | 4.3 | 4.3  |      |
| 3-幼  | 4.0 | 4.1  | 3-幼  | 4.1  | 4.2 | 4.2  |      |
| 1-中  | 4.0 | 4.1  | 1-中  | 3.9  | 4.0 | 4.0  |      |
| 2-中  | 3.8 | 3.9  | 2-中  | 3.8  | 4.3 | 4.3  |      |
| 3-中  | 3.9 | 4.1  | 3-中  | 3.7  | 4.2 | 4.2  |      |
| 1-成  | 4.0 | 4.2  | 1-成  | 3.9  | 4.2 | 4.2  |      |
| 2-成  | 3.8 | 4.1  | 2-成  | 3.7  | 3.9 | 3.9  |      |
| 3-成  | 3.6 | 3.9  | 3-成  | 3.6  | 3.9 | 3.9  |      |

注: 、 相当于地位指数 14、16

3.2.2.5 土壤有机质含量与组成变化 土壤有机质是林分生产力与土壤肥力的重要因素。杉木人工林传统的育林干扰,如炼山、整地、抚育、采伐都导致土壤表层有机质的减少。江西分宜的炼山试验表明,中等强度的炼山(堆高 60 cm,堆积物质量 15 kg m<sup>-2</sup>,火烧 15~17 min),使 0~2、2~5、5~10、10~20 cm 土层中的有机质分别减少 25.70%、18.30%、19.70%及 7.90%。福建南平炼山使 0~20 cm 表土层有机质下降了 14.32%。1 代人工林经过 2 次炼山(1 次是造林,1 次是更新)损失有机质 14 t hm<sup>-2</sup>,这说明连栽人工林的土壤有机质是下降的,如江西分宜的 2 代林的土壤有机质含量比 1 代林平均下降了 8%(在 2%~20%范围)。土壤有机质含

量减少是土壤容重增加的一个主要原因。

胡敏酸与富里酸的比例在一定程度上能说明土壤腐殖质类型、性质和腐殖化程度,这是衡量土壤腐殖质品质优劣的标志之一。福建南平的调查结果表明,除少数情况外,2、3代林胡敏酸含量及土壤腐殖化度均较1代林低,如16地位指数的2代杉木幼龄林胡敏酸含量较1代林下降了79.93%,腐殖化度降低了87.07%;2代成熟林的胡敏酸含量较1代成熟林下降了46.9%,腐殖化程度下降了71.41%。2、3代林的土壤中胡敏酸与富里酸的比值一般均低于1代林,这说明连栽杉木林腐殖质聚合程度较低,质量也较差,这与杉木2、3代人工林养分循环速率慢和分解速率低相一致。

3.2.2.6 土壤微生物变化 土壤微生物在森林枯落物分解、土壤腐殖质的合成、土壤养分循环及物质和能量代谢过程中起重要作用。福建南平的调查表明,14、16二个地位指数的土壤微生物总数在1、2、3代林的中龄林时期总是最低,而在成熟林时期又有所恢复,这个情况与在江西亚林中心的调查结果是一致的。此种结果与杉木人工林发育中群落结构和植物多样性变化有关。杉木人工林在中龄林时的郁闭度大,林下植物发育差,生物多样性差,而到了成熟林,由于林分郁闭疏开,生物多样性显著增加。据作者的研究,林下植被发育和植物多样性与微生物种群及数量成正相关。

在福建南平,随着杉木人工林栽植代数的增加,幼龄林土壤微生物总数趋于增加,但杉木中龄林、成熟林的土壤微生物趋于下降。如14地位指数的杉木成林,2代林土壤微生物总数及细菌、放线菌、真菌数分别较1代下降了63.80%、63.01%、73.44%和70.23%;16地位指数2代杉木成熟林的土壤微生物总数、细菌总数分别较1代林降低了76.93%、21.28%,但土壤放线菌和真菌总数有所增加。14地位指数3代成熟林土壤微生物总数及细菌、放线菌、真菌总数分别比1代林降低了54.10%、51.25%、69.38%和62.58%,16地位指数3代林也存在同样情况。

江西的调查表明,第2代土壤的微生物生物量及细菌总数均低于第1代,放线菌总数除个别的外,也是呈同时下降趋势,但真菌总数规律性不强。

总之,杉木人工林土壤三大类微生物的总数是因不同发育阶段及不同连栽代数而不同的。从杉木人工林发育阶段看,在中龄林阶段不利于微生物发育,总数最低。从不同连栽代数看,随着连栽代数增加,微生物生物量以及三大类的数量也呈下降趋势,说明2、3代人工林也存在着不利于微生物发育的环境。上述不同发育阶段,不同连栽代数微生物状况成为杉木连栽人工林枯落物分解及养分释放缓慢以及有效养分减少的重要因素。

3.2.2.7 土壤酶活性的改变 土壤酶在土壤物质循环和能量转化中起重要作用,土壤酶活性是评价土壤肥力的重要指标之一。过氧化氢酶能促进多种物质的氧化,加速有毒物质的分解。杉木连栽后,土壤中过氧化氢酶活性明显降低,12、14、16地位指数立地2代杉木林土壤 $H_2O_2$ 酶活性分别比其1代杉木林下降36.24%、6.47%、43.10%。土壤过氧化氢酶活性降低,势必要影响到土壤中有毒物质的分解。土壤转化酶活性的高低直接影响到土壤碳素循环,杉木连栽之后,转化酶活性明显降低势必要影响到土壤碳素代谢。12、14、16地位指数立地2代杉木林土壤转化酶活性分别比其1代杉木林降低36.87%、57.25%、50.96%。土壤脲酶活性降低势必要影响到土壤中N素循环和速效N的转化,不同地位指数2代杉木林和1代杉木林比较,脲酶活性发生明显下降,12、14、16地位指数2代杉木林土壤脲酶活性分别下降68.50%、

62.50%、73.62%。

土壤磷酸酶活性直接影响到土壤中磷元素循环,杉木连栽后,土壤磷酸酶活性明显降低。12、14、16 地位指数 2 代杉木林土壤磷酸酶活性分别下降 70.37%、36.17%、59.63%。磷酸酶活性降低势必影响到土壤中磷代谢,多酚氧化酶参与土壤中多酚类物质的氧化,土壤中多酚氧化酶过低会导致土壤中多酚类物质积累,引起林木中毒,多酚氧化酶活性变化有别于其它 4 种酶的活性变化。在差的立地条件下,2 代杉木林土壤多酚氧化酶活性不仅没有降低,反而升高;在中等立地条件下,2 代杉木林多酚氧化酶活性下降 28.57%;好的立地条件下,2 代杉木林多酚氧化酶活性下降 70.59%。该研究结果表明,连栽杉木林土壤中多酚类物质积累,通常出现在立地条件较好的土壤中。

表 8 江西分宜杉木连栽土壤酶活性的比较

| 立地 | 代 | 脲酶/                                     | 转化酶                       | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 酶                            | 磷酸酶                     | 多酚氧化酶                      |
|----|---|---|---------------------------|--|-------------------------|----------------------------|
|    |   | NH <sub>3</sub> -N(mg g <sup>-1</sup> ) | 葡萄糖/(mg g <sup>-1</sup> ) | 0.1NK <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub> /(mL g <sup>-1</sup> ) | 酚/(mg g <sup>-1</sup> ) | 红紫 精/(mg g <sup>-1</sup> ) |
| 差  | 1 | 2.00                                    | 8.76                      | 1.49   | 0.81                    | 0.09                       |
| 差  | 2 | 0.63                                    | 5.53                      | 0.95   | 0.24                    | 0.13                       |
| 中  | 1 | 2.32                                    | 7.79                      | 1.39   | 0.94                    | 0.07                       |
| 中  | 2 | 0.87                                    | 3.33                      | 1.30   | 0.60                    | 0.05                       |
| 好  | 1 | 3.26                                    | 7.79                      | 2.32   | 1.09                    | 0.17                       |
| 好  | 2 | 0.86                                    | 3.82                      | 1.32   | 0.44                    | 0.05                       |

注:江西差、中、好立地相当于杉木地位指数 12、14、16。

## 4 结论

(1) 杉木人工幼龄林到中龄林发育阶段的土壤养分及土壤生物活性向不良方向改变,到近成熟林有所改善。

(2) 随着连栽代数的增加,杉木人工林的土壤物理性变劣,土壤密度提高,土壤毛管持水量和非毛管孔隙度下降。

(3) 不同栽植代数的土壤 pH 值下降,根际土壤尤为明显,2、3 代林比 1 代林的下降幅度(0.2~0.4)大。土壤养分含量下降特别明显的是速效 P 和水解 N,2、3 代林 0~40 cm 土层内的速效 P 比 1 代林下降的幅度(20%~30%)大。土壤中微量元素,如 Cu 和 Zn 在 2、3 代人工林土壤中也趋于降低。2 代人工林的土壤有机质也呈下降趋势,2、3 代林土壤中的胡敏酸含量及土壤腐殖化程度均较 1 代林的低。

(4) 连栽杉木人工林土壤微生物总数和微生物生物量呈逐代下降的趋势,连栽杉木林土壤酶活性也是降低的。

总之,连栽杉木林土壤功能是下降的。

## 参考文献:

- [1] 张建国,盛炜彤. 杉木营养特性研究——营养平衡与苗木干物质的分配关系[A],见:张建国. 树木营养与施肥研究[C]. 北京:中国林业出版社,2001
- [2] 福建林学院杉木研究所,尤溪县林业技术推广中心. 炼山对杉木人工林生态系统影响的研究[A]. 见:盛炜彤. 人工林地力衰退研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1992

- [3] 叶镜中,邵锦锋,王桂馨. 炼山对土壤性质的影响[A]. 见:盛炜彤. 人工林地力衰退研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1992
- [4] 盛炜彤. 杉木人工林水土流失及养分损耗研究[J]. 林业科学研究,2000,13(6):589~597
- [5] 杨玉盛. 杉木可持续经营的研究[M]. 北京:中国林业出版社,1998
- [6] 陈楚莹,廖利平,汪恩龙. 杉木人工林生态[M]. 北京:科学出版社,2000
- [7] 俞新妥,张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力研究[A]. 见:盛炜彤. 人工林地力衰退研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1992. 93~99
- [8] 杨承栋. 杉木连栽对土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响[J]. 林业科学,1996,32(2):175~181
- [9] Jurgensen M F, Harvey A E, Graham R T. Impact of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity and health of Inland Northwest Forests[J]. Forest Science, 1997,43(2):234~250
- [10] Aughstol, Bonnaud P, Ranger J. Impact of tree species on Forest Soil acidification[J]. Forest Ecology and management, 1998, 105: 67~78
- [11] Savill P, Evans J, Auclair D. plantation silviculture in Europe[M]. OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1997

## Variation of Soil Properties of Chinese Fir plantation

SHENG Wei-tong, YANG Cheng-dong, FAN Shaohui

(Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The variations of physical, chemical properties and biological characteristics of soil in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation with different cultural rotations (from one to three) and development stages are studied and analyzed. It is showed that with the increase of rotation, the soil physical properties deteriorate, the pH value decreases and the nutrient content becomes poorer, especially the contents of available P and hydrolytic N. The microorganism quantity and soil enzyme activity change to toward the declination of biological activity. In different development stages, the soil fertility differs. In the stage from young plantation to middle aged plantation, the soil fertility decrease while it will increase in the mature stage. But the soil fertility can not be recovered thoroughly. Under present culture system, the successive culture of *C. lanceolata* plantation will result in the declination of soil complex function, which is an important reason why *C. lanceolata* plantation can not keep high productivity for a long-term.

**Key words:** Chinese fir plantation; soil fertility; long-term site productivity