

# 红壤地区杉木人工林土壤肥力 质量性状的演变\*

吴蔚东<sup>1,2</sup> 张桃林<sup>3</sup> 高超<sup>1,3</sup> 孙波<sup>3</sup>  
彭补拙<sup>1</sup> 赵其国<sup>3</sup>

(1 南京大学城市与资源系, 南京 210093)

(2 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045)

(3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘 要** 通过在江西省红壤地区主要林区的铜鼓县和德兴县选择不同林龄(1~28 年)的杉木人工林样地采用随机网格法对土壤分层取样, 并对土壤样品进行分析后的研究结果表明, 从造林阶段到 5~8 年的幼林期, 包括林地凋落物层、土层厚度、有机质、全 N、CEC、BS、pH 和速效 N、P、K 在内的林地主要土壤质量性状大幅度退化。随着树龄的增大, 林地土壤质量性状开始缓慢恢复。但是, 即使杉木人工林进入了主伐期, 土壤质量性状的恢复程度仍远低于其初始水平。

**关键词** 红壤地区, 人工杉木林, 土壤肥力质量

**中图分类号** S114.8

人类的活动和人口的快速增长彻底改变了温暖、湿润的红壤地区的生态系统组成。人类为了满足其生存和生活需要, 不断破坏顶极的原生阔叶林, 使生态系统逆向演替, 形成各种人工或半人工的生态系统<sup>[1]</sup>。实际上, 在红壤地区山地, 杉木人工林已经成为当地典型的景观生态类型。

土壤作为森林生态系统的组成成份和状态因子<sup>[2]</sup>, 为森林的生长发育、繁衍生息提供了必须的环境条件、调节着系统内外水分的分配、起着有效的环境过滤器的作用<sup>[3]</sup>。土壤在森林生态系统中的这些功能就是土壤的质量, 它是森林生态系统可持续发展的基础; 同时, 生态系统组成、结构与功能的变化又影响和制约着土壤质量演化的方向和强度。研究现行技术条件下土壤质量的演变规律及机制是建立科学的土壤质量调控体系的基础与前提, 也是近年来国际土壤学研究的热点与前沿<sup>[3]</sup>。

由于杉木人工林在红壤地区林业生产和生态环境建设中的重要性, 自 20 世纪 80 年代末以来, 许多研究者对杉木人工林经营过程中的营造、抚育和间伐等技术措施下土壤性

\* 国家重大基础研究支持项目(973 项目)资助(编号: G1999011801); 中科院“九五”重大项目(KZ951- A1-301)与特别支持项目(KZ95T- 04- 01)资助

- 通讯联系地址

收稿日期: 2000- 05- 22; 收到修改稿日期: 2000- 10- 16

状的变化进行了研究。研究表明,杉木人工林在栽杉以后,由于地被物的破坏和对土壤的翻动,引起土壤有机质和养分下降、土壤侵蚀加剧,进而导致土壤薄层化和砂化,使杉木人工林地土壤产生退化<sup>[1,4-9]</sup>。上述研究主要针对不同的人为扰动过程对杉木人工林土壤的影响。本文将讨论在目前杉木人工林经营与管理技术条件下林地土壤肥力质量性状演变的规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究样地的选择与基本情况

土壤质量可以从土壤的内在属性或土壤的功能两个角度去认识<sup>[10]</sup>。本研究仅从第一个角度开展工作。研究杉木人工林在现有技术和管理水平条件下生长过程中土壤质量性状演变的最理想的方法是在相同的样地上进行长期定位试验。然而,由于森林生长的生育期长达数十年,从事这样的研究需要大量的资金和长期的时间投入。本研究采用的方法是在江西省典型红壤地区的主要林区铜鼓县和德兴县选择不同林龄的(1~28a)杉木人工林样地,通过比较这些样地的土壤质量性状来揭示杉木人工林土壤质量的演变规律。

样地选择的原则:(1)从理论上讲,所选择的样地应该控制地形要素(坡度、坡向、坡长与坡形)、土壤与成土母质类型的一致,不同样地之间要尽量邻近,其过去的植被均为天然常绿阔叶林,杉木人工林的营造和管理采用目前常规方法(即经过炼山造林、幼林期人工抚育,速生期人工间伐等过程),以便使它们在更新前后尽量具有同源性和一致性;(2)土壤没有因自然或人为因素的作用而出现地形的变迁或明显的土壤物质再分配;(3)具有关于每个样地的历史资料。

但是,在自然条件下要选择完全满足原则(1)的研究样地实际上是不可能的。这是因为研究地区为山地,它们的坡度大都在20~55°之间,地形非常复杂,因此,在样地选择时,只能尽量保证上述条件的一致性。

在上述原则下,所选择的有代表性的样地的基本情况见表1,每块研究样地面积>0.1hm<sup>2</sup>。TGC1~TGC6代表铜鼓县杉木人工林的6个样地;DXC1~DXC6代表德兴县的6个杉木人工林样地。

表1 研究样地的基本情况

Table 1 Characteristics of the studied sites

样地 Site	植被年龄 Age of tree(a)	地形 Relief	海拔 Elevation(m)	坡度 Gradient(°)	坡向 Aspect	土壤类型 Soil type	母质类型 Parent material
TGC1	1	山地	400~430	42~45	东南	黄红壤	板岩
TGC2	5	山地	450~480	38~43	南	黄红壤	板岩
TGC3	10	山地	410~460	36~45	东南	黄红壤	板岩
TGC4	15	山地	400~430	42~45	东南	黄红壤	板岩
TGC5	22	山地	350~390	38~43	西南	黄红壤	板岩
TGC6	25	山地	380~400	36~45	西南	黄红壤	板岩
DXC1	2	山地	350~400	42~45	东南	红壤	花岗岩
DXC2	5	山地	345~390	38~43	东南	红壤	花岗岩
DXC3	8	山地	360~410	36~45	西南	红壤	花岗岩
DXC4	19	山地	300~330	42~45	南	红壤	花岗岩
DXC5	25	山地	340~370	38~43	南	红壤	花岗岩
DXC6	28	山地	320~350	36~45	西南	红壤	花岗岩

## 1.2 土壤的取样方法

在每块研究样地上, 采用格网随机取样的方法, 每块样地选择 6 个样点进行取样, 网格间距 30m。地表凋落物的取样用  $1\text{m}^2$  的方框在取样点上确定样方, 观测并记录凋落物层的层次, 并分层全部取样。凋落物取样之后, 在矿质土层上挖掘 50cm 深的土坑, 从地表开始, 表层 10cm 内分 0~5cm 和 5~10cm 取样, 10cm 以下每隔 10cm 取样, 每个土样重 500g 左右, 装入布袋中, 带回室内风干处理; 同时每个土层用环刀取原状土, 带回测定容重和孔隙度。

## 1.3 质量性状的选择、测定与表示方法

1.3.1 土壤肥力质量指标的选择与分析测定 土壤肥力质量指标选择的的原则是: (1) 它们必须与植物生长有密切关系, 并且 (2) 对生态系统组成、物质和能量流动变化, 以及管理措施具有较强的敏感性。基于这些原则, 在参考有关文献<sup>[11~14]</sup>的基础上, 结合红壤地区森林土壤的实际情况, 本文选择的土壤肥力质量指标及其选择依据和分析方法见表 2。

表 2 土壤肥力质量指标、选择依据及分析测定方法

Table 2 Soil fertility quality indicators, rationale for being selected, and determination methods

质量指标	选择依据	分析测定方法
Quality indicators	Rationale for being selected	Determination methods
容重	根系生长; 水、气、热性状; 分析结果换算	环刀法
地表凋落物层	养分贮存、有机质来源; 生物能源; 抗侵蚀	样方称重法
有机质	肥力基础、生物能源; 土壤稳定性和侵蚀程度	硫酸-重铬酸钾法
全 N	植物 N 素来源	微量开氏法
全 P	植物 P 素来源	钼锑抗比色法
全 K	植物 K 素来源	火焰分光光度法
碱解 N	有效 N 素	康维皿法
速效 P	有效 P 素	Olsen 法
交换性 K	有效 K 素	醋酸铵-分光光度法
pH	决定土壤生物活性和各种养分的有效性	水-酸度计法
盐基饱和度	决定土壤养分的有效性、影响土壤的稳定性	醋酸铵-酸碱滴定法
CEC	植物养分的保持与供应	醋酸铵交换法

1.3.2 土壤肥力质量指标的表示方法 本文采用单位面积等重量 ( $350\text{kg m}^{-2}$ ) 的表土层(包括地表凋落物层)的组份数量来表示土壤质量指标的值。选择这个单位面积重量能够保证它包括了受生物和管理作用强烈的全部表层土壤和部分亚表层土壤<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地表凋落物层

杉木人工林在营造过程中生态系统原有植被和地表凋落物被全部清除, 随着杉树的生长, 当林地完全郁闭, 林木下部枝叶光照不足开始枯落后, 林下才开始重新形成新的凋落物层(图 1, 图 2)。本文的研究结果表明, 杉木人工林下凋落物层的厚度、有机质重以及凋落物层中所含的全量 N、P、K 养分的数量均随杉木树龄的增加而增加(见图 1~5)。表 3 可见, 杉木人工林林下凋落物层一旦开始形成, 上述性状随林龄的增加可以用线性方程进行拟合。但是, 凋落物层的累积过程非常缓慢, 即使当杉树的生长进入主伐期以后, 其

林下累积的凋落物数量也不及天然常绿阔叶林下的  $1/2^{[1]}$ , 恢复到其更新前的状态几乎是不可能的。

表 3 杉木人工林下凋落物层及其养分累积与树龄的关系

Table 3 Relationship between the accumulation of litter layer or its nutrient and the tree age under artificial Chinese fir forest

地点 Location	项目 Item	拟合方程 Regression equation	$R^2$
铜鼓	厚度	$y = 0.2985x - 0.9583$	0.96
德兴		$y = 0.2248x + 0.4591$	0.85
铜鼓	有机质	$y = 0.072x - 0.2607$	0.93
德兴		$y = 0.0628x - 0.0523$	0.85
铜鼓	全 N	$y = 0.8639x - 3.2188$	0.92
德兴		$y = 0.7146x - 0.3373$	0.90
铜鼓	全 P	$y = 0.1087x - 0.407$	0.92
德兴		$y = 0.0879x - 0.0425$	0.90
铜彭	全 K	$y = 0.1571x - 0.6049$	0.92
德兴		$y = 0.1271x - 0.0679$	0.90

注: 以上拟合方程中,  $y$  为凋落物层的性状,  $x$  为杉木人工林林龄(1~28a)。

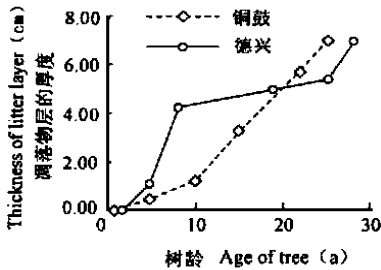


图 1 地表凋落物层的厚度

Fig. 1 Thickness of the litter layer

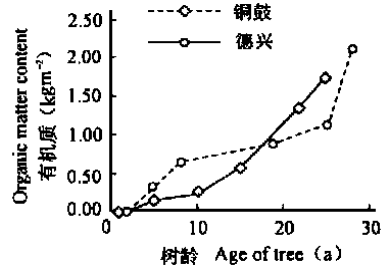


图 2 地表凋落物层中的有机质含量

Fig. 2 Organic matter content in the litter layer

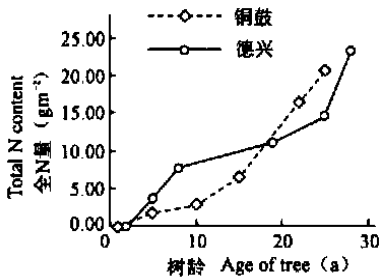


图 3 地表凋落物层中的全 N 量

Fig. 3 Total N in the litter layer

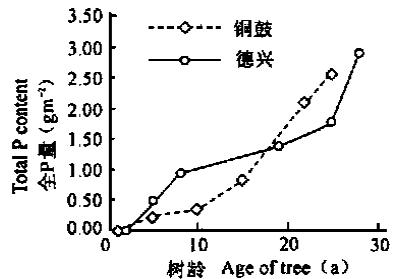


图 4 地表凋落物层中的全 P 量

Fig. 4 Total P in the litter layer

## 2.2 土层厚度与容重

图 6 表明, 在铜鼓样地, 杉木人工林在营造之初的第 1a, 表层  $350\text{kg m}^{-2}$  土壤的矿质

土层厚度为 26.83cm, 其容重为 1.30mg m<sup>-3</sup>。当树龄为 5a 时, 矿质土层的厚度已降为 25.20cm, 达到低谷, 而容重上升到 1.36mg m<sup>-3</sup>, 达到峰值。此后, 矿质土层和全部土层的厚度随着林木的生长和树龄的增加而增大(图 6A、图 6B), 而其容重随树龄的增大而下降(图 6C 和图 6D)。德兴样地也表现出相同的趋势(见图 6A、图 6B、图 6C 和图 6D)。这说明营造杉木人工林时, 表土层被人为松动, 土壤容重相对小而厚度相对较大, 其后由于土壤缺乏覆盖, 疏松的表土被径流侵蚀, 同时在降雨击打下土壤变得紧实而使容重增加, 土层厚度相对下降; 随着树龄增大、林木覆盖度和地表凋落物层的形成, 树木根系和生物的作用, 又逐渐使土壤容重下降, 矿质土层的厚度相对增加。

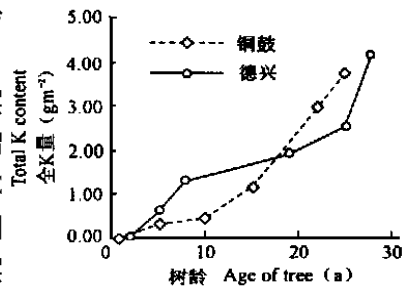


图 5 地表凋落物层中的全 K 量  
Fig. 5 Total K in the litter layer

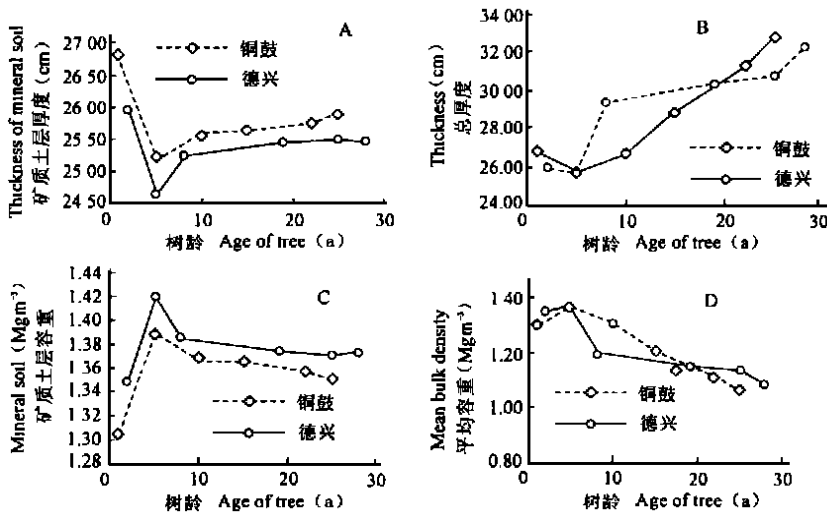


图 6 表层 350kg m<sup>-2</sup> 土壤矿质土层厚度(A)、总厚度(B)、矿质土层容重(C) 和平均容重(D)

Fig. 6 Thickness of mineral soil (A), total thickness (B), bulk density of mineral soil (C) and mean bulk density (D) of surface soil required to attain an equivalent soil mass of 350kg m<sup>-2</sup>

### 2.3 土壤有机质和全 N 量

杉木人工林营造之初, 其土壤继承了天然常绿阔叶林迹地上较高的有机质和全 N 含量。由于林地原有地上凋落物层的破坏, 新的凋落物尚没有形成, 而土壤的矿化作用和富含腐殖质的表土的侵蚀作用在林木更新后显著增强, 使得杉木幼林地矿质土壤有机质和全 N 量不断下降(见图 7A, 图 7C)。新的凋落物层形成以后, 尽管此时土壤加速侵蚀过程已经终止, 但是, 可能由于凋落物对土壤有机质的补充不能补偿矿化作用的消耗, 矿质土壤有机质和全 N 的下降还在进行。在树龄达 8~ 10a 以后, 当地表累积的凋落物的腐殖化作用以及淋淀作用在土壤中形成的腐殖质大于矿化损失时, 矿质土层中的有机质量和全 N 量开始增加。表层 350kg m<sup>-2</sup> 土壤的总有机质和总 N 量的变化显然是凋落物层和

矿质土层中的有机质和全 N 变化迭加的结果(图 7B, 图 7D)。

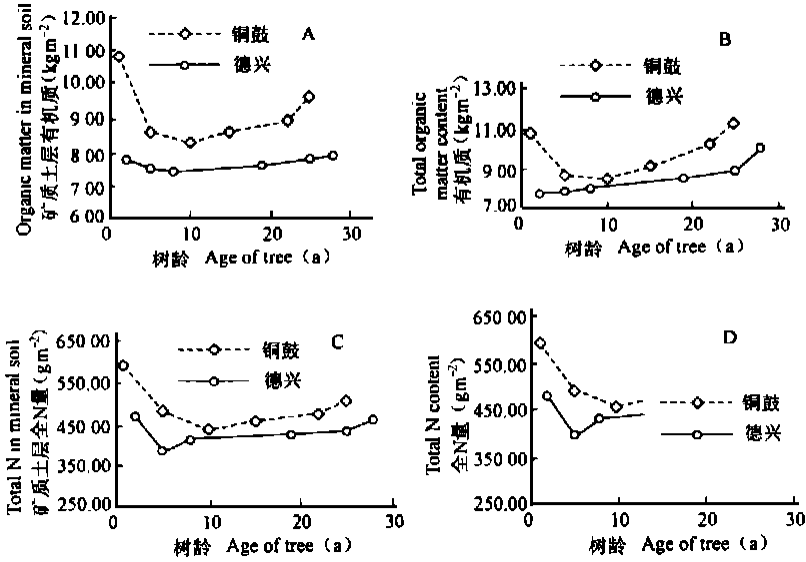


图 7 表层 350kg m<sup>-2</sup>土壤矿质土层中的有机质量(A)、总有机质量(B)、矿质土层中的全 N 量(C)和总 N 量(D)

Fig. 7 Organic matter content in mineral soil (A), total organic matter content (B), N content in mineral soil (C) and total N content (D) in surface soil required to attain an equivalent soil mass of 350kg m<sup>-2</sup>

### 2.4 全 P 量和全 K 量

图 8A 和图 8C 表明, 杉木人工林地的矿质土层中全 P 和全 K 量随着林龄的增加没有明显的变化。由于 P 和 K 在凋落物层中的含量很低, 它们对土壤中总 P 量和总 K 量的影响也很小, 这使得土壤总 P 量和总 K 量主要取决于它们在矿质土层中的含量(图 8B, 图 8D)。

### 2.5 速效养分

杉木林在营造后, 由于大量地上植被和凋落物焚烧后的灰分直接落在土壤表面, 使大量养分在降雨作用下带入表土层中; 同时, 由于有机质的矿化作用增强, 释放的有效养分增加, 使其在幼林期, 特别是造林后的第一年土壤速效 N、P、K 含量保持在较高的水平(见图 9A, 图 9B, 图 9C)。其后, 随着淋溶作用的进行, 以及林木生长对速效养分的吸收的增加, 土壤的速效 N、P、K 水平不断下降, 并在杉树的快速生长期一直处于较低的水平。当杉树进入成熟期以后, 可能由于林木对养分的需要相对下降, 速效养分的含量稍有回升。

### 2.6 土壤化学性状

土壤 CEC 是反映土壤保持养分和缓冲能力的重要性状。图 10A 表明, 杉木人工林地的 CEC 在林龄为 1a 时最大, 在 5~ 8a 内的幼树期迅速下降, 当林木进入快速生长期以后, CEC 达到最低点, 随后 CEC 止跌为升, 但是增加极为缓慢。该结果与矿质土壤中有机的变化极为相似。说明杉木人工林营造后土壤 CEC 的变化主要取决于矿质土壤中有

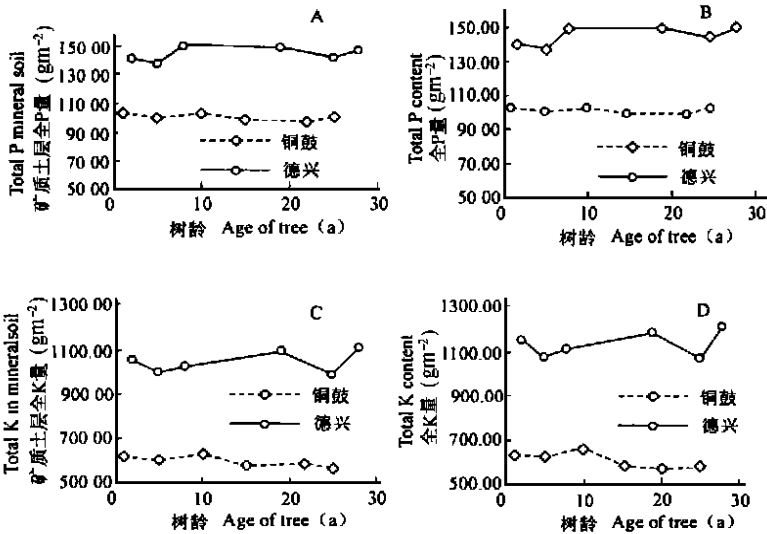


图 8 表层  $350kg m^{-2}$  土壤矿质土层中的全 P 量(A)、总 P 量(B)、矿质土层中的全 K 量(C) 和总 K 量(D)

Fig. 8 P content in mineral soil (A), total P content (B), K content in mineral soil (C) and total K content (D) in surface soil required to attain an equivalent soil mass of  $350kg m^{-2}$

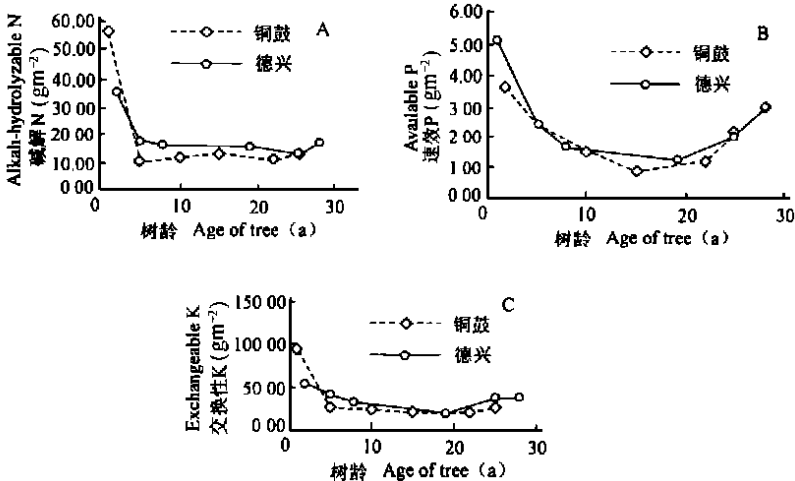


图 9 表层  $350kg m^{-2}$  土壤中的水解性 N(A)、速效 P(B) 和交换性 K 含量(C)

Fig. 9 Soil alkali- hydrolyzable N (A), available P (B) and ex changeable K content (C) in surface soil required to attain an equivalent soil mass of  $350kg m^{-2}$

机质的演变。

红壤地区(铜鼓)强烈的淋溶作用使土壤的盐基极不饱和,土壤呈强酸反应。但是,本研究表明杉木人工林在建立之后,由于大量灰分进入土壤,1a 林龄的林地土壤 BS 和 pH 分别可达到 42.27% 和 6.07(图 10B,图 10C)。随着淋溶作用的进行和林木对盐基养分

的吸收,土壤 BS 和 pH 迅速下降,使土壤的 BS 和 pH 重新处于一种较低的水平。

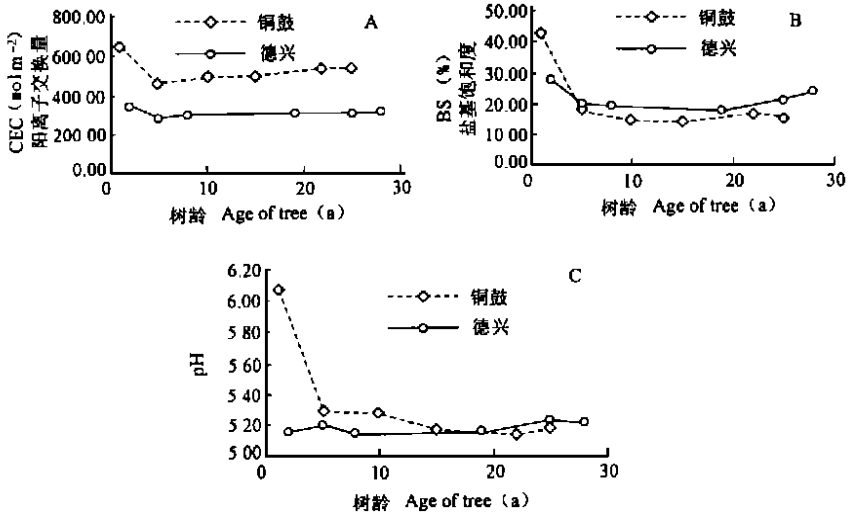


图 10 表层  $350\text{kg m}^{-2}$  土壤的 CEC(A)、BS(B) 和 pH(C)

Fig. 10 Capacity of exchangeable cation(A), base saturation(B) and pH(C) of surface soil required to attain an equivalent soil mass of  $350\text{kg m}^{-2}$

### 3 结论

上述结果表明,在目前林业生产技术条件下杉木人工林地土壤肥力质量性状的演变表现出不同的特点:

(1) 杉木人工林在造林时破坏的地表凋落物层在林龄 5~ 8a 后开始恢复过程,凋落物层的厚度、有机质以及凋落物层含有的全量 N、P、K 养分的数量均随树龄呈线性增加。

(2) 杉木人工林在营造之初表层  $350\text{kg m}^{-2}$  土壤矿质土层厚度、有机质、全 N 量、碱解 N、速效 P、交换性 K、CEC、BS、pH 均处于最高水平,在 5~ 8a 的幼林期内大幅度下降,并下探至谷底。其后随树龄的增加或缓慢回升,或保持在一个较低的平台。

(3) 随着林龄的增加土壤全 P 和全 K 量没有明显的变化。杉木人工林地土壤质量性状的这些演变特点说明,在现行杉木人工林经营与土壤管理技术条件下,从造林阶段到 5~ 8a 的幼林期,林地的主要土壤质量性状大幅度退化。随着林木的进一步生长,土壤质量性状开始缓慢恢复。但是,即使杉木人工林进入了主伐期,土壤质量性状的恢复程度仍远低于其初始水平。也就是说,目前的杉木人工林经营管理体系使林地土壤质量的退化是不可避免的。很显然,如果对林地进行采伐和新一轮的更新过程,红壤地区杉木人工林土壤质量的退化过程会进一步加剧。重视与改进现行的林木更新技术、建立主要针对幼林期土壤保护的森林土壤管理的措施体系、重视对森林土壤的投入,以防止和减少土壤质量的退化程度是保证红壤地区森林土壤持续利用的关键。



## 参 考 文 献

1. 吴蔚东, 张桃林等. 人工杉木林地有机物和养分库的退化与调控. 土壤学报, 2000, 37(1): 41~ 49
2. Jenny H. The soil resource: Origin and behavior. New York: Springer-Verlag, 1980.
3. Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality. In: J. W. Doran et al. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publ. Number 35. Soil Sci. Soc. of Am. Inc. and Am. Soc. of Agron. Inc., Madison, WI, pp. 3~ 22
4. 吴蔚东, 刘开树. 阔叶林砍伐迹地上炼山造林对土壤系统中养分的影响. 江西农业大学学报, 1991(1): 33~ 39
5. 俞新妥, 杨玉盛. 炼山对杉木人工林生态系统的影响 I. 炼山初期林地水土流失的初步研究. 福建林学院学报, 1989(3): 238~ 255
6. 杨玉盛, 俞新妥. 炼山对杉木人工林生态系统的影响 II. 炼山初期林土壤肥力变化初步研究. 福建林学院学报, 1989(3): 256~ 262
7. 俞新妥, 杨玉盛, 张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究. 福建林学院学报, 1989(3): 263~ 271
8. Wu Weidong, Liu Kaishu. A study on the effects of control burning afforestation on the soil system. In: Lin Boqun ed. Modern forest management and forest soil potential. International Academic Publisher, Beijing, 1992, 30~ 37
9. Zheng Yushan, Ding Yingxing. Effect of mixed forests of Chinese fir and tsoong's tree on soil properties. Pedosphere, 1998, 8(2): 161~ 168
10. Karlen D J, Mausbach M J, Doran J W, et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 1997(61): 4~ 10
11. SSSA. Methods for assessing soil quality Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publication, Madison. WI. 1996
12. MacEwan R J. Soil quality indicators: Pedological aspects. In: Gregorich E G Carter M R. eds. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. 143~ 166
13. Pennock D J, Kessel C V. Clear-cut forest harvest impacts on soil quality indicators in the mixedwood forest of Saskatchewan, Canada. Geoderma, 1997, 5: 13~ 32
14. Wang Xiaojun, Gong Zitong. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma, 1998, 81: 339~ 355
15. Ellert B H, Bettany J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soil under contrasting management regimes. Can. J. Soil Sci., 1995, 75: 529~ 538

## CHANGES OF SOIL FERTILITY QUALITY PROPERTIES UNDER ARTIFICIAL CHINESE FIR FOREST IN RED SOIL REGION

Wu Weidong<sup>1,2</sup> Zhang Taolin<sup>3</sup> Gao Chao<sup>1,3</sup> Sun Bo<sup>3</sup>

Peng Buzhuo<sup>1</sup> Zhao Qiguo<sup>3</sup>

(1 Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

(2 Institute of Land Resource and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

(3 Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)

### Summary

Soil fertility quality properties were studied by random gridding sampling and analyzing of soils at artificial Chinese fir forest sites with different tree ages in Tonggu County and Dexi County, which are major timber producers in the red soil region of Jiangxi Province. Properties, including litter layer, soil depth, organic matter, total N, CEC, BS, pH and available N, P, K, degraded sharply during the first 6-8 years after forestation. With increase in tree ages, these properties recovered slowly. But they were far below their initial levels even when the forests reached their mature stage. This paper concluded that soil fertility quality degradation is unavoidable under the current forestry management practices, and that improving forestation and reforestation methods, establishing proper soil management practices mainly aimed at protecting surface soil under seedling tree, and increasing input to forest soil, are key measures to keep soil quality from degradation.

**Key words** Red soil, Artificial forest, Soil fertility quality