

杉木人工林取代天然次生阔叶林对土壤生物活性的影响^{*}

胡亚林^{1,2} 汪思龙^{1**} 颜绍馥¹ 高洪¹

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所会同森林生态实验站, 沈阳 110016; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 对我国亚热带南、中、北3个区带杉木人工林与天然次生阔叶林表层土壤化学性状、土壤生物活性特征进行研究. 结果表明, 杉木人工林取代天然次生阔叶林后表层土壤总有机碳含量下降 31.51%~58.24%, 土壤全氮、全磷、pH 值以及土壤 C/N、C/P 比亦呈下降趋势; 杉木人工林取代天然次生阔叶林后表层土壤细菌、真菌数量减少; 土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和脱氢酶活性下降, 而土壤多酚氧化酶活性增加 8%~40%; 杉木人工林与天然次生阔叶林相比, 土壤呼吸强度下降 51.15%~54.48%. 相关分析发现, 土壤总有机碳与土壤多酚氧化酶活性呈负相关 ($R = -0.723, n = 18$), 与土壤全氮、全磷及其它土壤酶活性呈正相关. 杉木人工林取代天然次生阔叶林使林内表层土壤质量恶化. 杉木人工林土壤有机质丢失是导致杉木人工林土壤养分减少、土壤生物活性下降的重要原因.

关键词 杉木人工林 天然次生林 土壤生物活性

文章编号 1001-9332(2005)08-1411-06 **中图分类号** Q945; S154 **文献标识码** A

Effects of replacing natural secondary broad-leaved forest with *Cunninghamia lanceolata* plantation on soil biological activities. HU Yalin^{1,2}, WANG Silong¹, YAN Shaokui¹, GAO Hong¹ (¹ Huitong Experimental station of Forest Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(8): 1411~1416.

This paper studied the effects of replacing natural secondary broad-leaved forest with *Cunninghamia lanceolata* plantation in the south, central and upstate areas of subtropical China on the changes of soil chemical and biological properties. The results showed that after replacing with *Cunninghamia lanceolata* plantation, the total organic carbon (TOC) content in surface soil decreased by 31.51%~58.24%, and the contents of soil total N and P, pH value, C/N and C/P also decreased to different degree. Soil microbial amount was less than that under natural secondary broad-leaved forest, soil urease, invertase, catalase and dehydrogenase activities decreased, while soil polyphenol oxidase activity increased by 8%~40%. The respiration rate of *Cunninghamia lanceolata* soil was 51.15%~54.48% lower than that of natural secondary broad-leaved forest soil. The correlation between soil TOC and polyphenol oxidase activity was negative ($R = -0.723, n = 18$), while those between soil TOC, N, P and other enzyme activities were positive. It could be concluded that replacing natural secondary broad-leaved forest with *Cunninghamia lanceolata* plantation worsened soil quality, and the loss of soil organic matter in *Cunninghamia lanceolata* plantation ecosystem might be one of the important factors resulted in the decrease of soil nutrients and enzyme activities.

Key words Chinese fir plantation, Natural secondary forest, Soil biological activity.

1 引言

土壤有机质是影响土壤生态过程的重要因素, 是土壤养分的源和库, 影响土壤保持水分能力和物理结构稳定性, 并作为土壤生物营养物质的主要来源影响土壤的生物活性^[13,14]. 由于土壤有机质变化较慢, 近年来大量研究将土壤微生物数量、土壤呼吸强度、土壤酶活性等作为土壤质量变化的敏感指标^[1,13]. 土壤呼吸释放 CO₂ 量可以作为土壤生物活性的综合性指标^[22]. 土壤酶是土壤生物化学反应的催化剂, 影响着土壤有机质的积累、转化和土壤养分

循环. 土壤酶活性能综合反映土壤理化性状和生物学性状, 可用于评价土地利用和土地管理措施对土地长期生产力的影响^[2].

维持和提高森林土壤质量是森林可持续经营的关键. 杉木人工林取代天然次生林对森林土壤生态功能影响的诸多研究主要集中在土壤理化性状方面, 对于土壤生物活性变化研究相对较少. 此外, 前人的研究多局限于某一个地区的林分尺度水平, 这

^{*} 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-418)和国家自然科学基金资助项目(30270268).

^{**} 通讯联系人.

2004-09-02 收稿, 2005-01-04 接受.

局限了对杉木人工林取代天然次生阔叶林土壤生态过程变化的普遍规律的正确认识. 本研究在较大尺度上研究了我国亚热带南、中、北3个不同区带杉木人工林取代天然次生阔叶林后土壤生物活性的变化, 旨在为亚热带地区杉木人工林可持续经营提供理论依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

研究地区包括广西省柳州、湖南省会同、河南省信阳三个地区. 广西柳州位于中亚热带, 是杉木人工林分布的南带; 湖南会同位于中亚热带, 是杉木人工林分布的中心区; 河南

表1 不同样地自然概况

Table 1 Natural situation of different sampling stands

林型 Forest types	经纬度 Longitude/ Latitude	海拔 Elevation (m)	土壤类型 Soil types	年均气温 Annual temperature (°C)	年降雨量 Annual rainfall (mm)	整地方式 Site preparation	林龄 Stand age (yr)	坡向 Aspect
广西天然次生林 GA	109°38′/24°17′	115	赤红壤 Latosolic red soil	20.9	1700	-	-	东 East
广西杉木人工林 GB	109°36′/24°19′	94	赤红壤 Latosolic red soil	20.9	1700	块状整地 Mass soil preparation	15	东北 Northeast
湖南天然次生林 HA	109°36′/26°50′	422	红壤 Red soil	19.6	1200	-	-	西南 Southwest
湖南杉木人工林 HB	109°36′/26°51′	521	红壤 Red soil	19.6	1200	全垦 Overall soil preparation	21	东南 Southeast
河南天然次生林 HA	113°56′/31°50′	335	黄棕壤 Yellow-brown soil	15.1	1109	-	-	东 East
河南杉木人工林 HB	113°57′/31°49′	446	黄棕壤 Yellow-brown soil	15.1	1109	带状整地 Strip soil preparation	12	南 South

* G: 广西 Guangxi; N: 湖南 Hunan; H: 河南 Henan. A: 天然次生阔叶林 Natural secondary broad-leaved forests; B: 杉木人工纯林 Chinese fir plantations. 下同 The same below.

2.2 研究方法

2.2.1 取样方法 在每个林地内按不同坡位选取3块10 m × 10 m的样方, 在各样方内按梅花形选取5个采样点, 用土钻(直径5 cm)取0~10 cm表层土壤, 将其充分混合成一个土样, 每个林地共取3个土样. 全部采样工作在2004年3月上旬不到两周时间内完成, 同一个地区两个林地的土样在1d内采集. 土样采完后迅速带回实验室, 一部分4 °C冰箱保存, 用于土壤微生物和土壤呼吸强度分析, 另一部分在室温下风干、过筛, 用于土壤化学性状和土壤酶活性测定.

2.2.2 分析方法 采用德国生产的High TOC II仪测定土壤有机碳(TOC); 半微量开氏法测定土壤全氮; 氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定土壤全磷; 1 mol·L⁻¹ KCl溶液浸提(土:液=1:2), 酸度计测定土壤pH. 靛酚兰比色法测定土壤脲酶(Urease)活性; 没食子酸比色法测定多酚氧化酶(Polyphenol oxidase)活性; 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶(Inverase)活性; 2, 3, 5-三苯基四氮唑氯化物比色法测定脱氢酶(Dehydrogenase)活性; 高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶(Catalase)活性. 土壤细菌用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌用马丁氏培养基培养. 碱吸收滴定法测定土壤呼吸强度.

2.2.3 数据分析 数据用SPSS 10.0软件包进行分析, 图形用SigmPlot 8.02绘制.

信阳位于北亚热带, 是杉木人工林分布的北部边界. 广西柳州和湖南会同两地区的天然次生林为常绿阔叶林; 河南信阳的天然次生林为常绿落叶阔叶混交林. 各地区天然次生林植被类型不同, 广西柳州天然次生阔叶林以厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)、桂林栲(*Castanopsis chinensis*)等为主; 湖南会同天然次生阔叶林以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、红栲(*C. hystrix*)等为主; 河南信阳天然次生阔叶林以麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Q. variabilis*)等为主. 各地区杉木人工林均为天然次生阔叶林砍伐后, 经不同方式整地造林而成. 杉木人工林造林前的天然次生阔叶林土壤特征与本研究取样天然次生阔叶林土壤基本相同. 两块林地相距不远, 立地条件基本相似, 具有可比性. 各样地的具体自然概况见表1.

3 结果与分析

3.1 表层土壤养分变化

杉木人工林取代天然次生阔叶林后林地表层土壤养分含量降低(表2). 与天然次生阔叶林相比, 广西柳州、湖南会同、河南信阳三地杉木人工林表层土壤总有机碳量分别下降58.24%、36.58%和31.51%, 土壤全氮量分别下降42.81%、28.18%和32.48%, 土壤全磷量分别下降34.78%、25.00%和21.33%, 差异均达到显著性水平($P < 0.05$). 此外, 林地表层土壤C/N、C/P比呈降低趋势, 表明杉木人工林表层土壤有机碳比土壤全氮、全磷的降低幅度更大. 其中, 广西柳州两块林地的C/N比差异显著($P < 0.05$), 而其他两个地区两块林地之间差异均不显著. 表层土壤C/P在广西柳州和湖南会同两地的两块林地间差异达到显著水平($P < 0.05$), 而河南信阳两块林地差异不显著. 杉木人工林表层土壤pH值降低, 土壤酸化程度加强.

森林土壤有机质主要来源于森林植被演替和发

育过程中地上、地下凋落物、根系分泌物、土壤生物残体等的分解与转化,土地利用方式和管理措施影响土壤有机质的含量、质量和周转^[9]。由于森林砍伐后木材被移出系统及炼山、整地等不合理经营措施使森林土壤有机碳大量丢失^[5,19,21,28,33]。杉木人工林取代天然次生阔叶林后土壤有机碳含量明显减少,主要是由于杉木人工林土壤生态系统有机物质输入量减少,输出量增加及杉木人工林经营中不合理的炼山、整地等措施造成的。与天然次生阔叶林相比,杉木人工林地上和地下的凋落物量均较少^[15,28]。

土壤有机质影响土壤生态功能和过程,森林土壤有机质能改善土壤团聚体稳定性,影响土壤水文特征^[26,27]。土壤有机质是土壤养分的源和库,被认为是土壤 N 的主要来源,而大约 65% 的土壤 P 也由土壤有机质提供^[8]。杉木人工林经营过程中不合理措施导致林地土壤有机质丢失,进而引起杉木人工林表层土壤养分含量减少及林地土壤酸化。

3.2 土壤细菌和真菌数量变化

杉木人工林取代天然次生阔叶林后表层土壤细菌、真菌数量减少(表 3)。广西柳州、湖南会同、河南信阳三地杉木人工林表层土壤细菌数量与天然次生阔叶林相比,分别降低了 59.03%、88.25% 和 76.85%,真菌数量分别下降 72.17%、43.15% 和 28.33%。此外,比较细菌和真菌数量的变化发现,与天然次生林相比,杉木人工林土壤微生物群落结构亦发生了改变。

土壤微生物在森林土壤生态系统中发挥着重要作用,它们能影响植被凋落物分解、腐殖质形成、养分循环、物质能量代谢等过程,是土壤生态系统中活

的生命体^[20,22]。杉木人工林取代天然次生阔叶林后表层土壤微生物数量减少,表明杉木人工林土壤质量下降。

土壤微生物数量、群落组成受各种因素(如气候条件、土壤微环境、地上植被及人类活动)的影响,森林植物物种组成是影响土壤微生物数量、群落结构及活性的重要因素^[3,4,7,11]。森林植被能影响林地微环境,通过根系分泌物、地上和地下凋落物及树冠拦截和淋洗等作用改变土壤微生物生长所需能量物质的数量和质量^[4,24]。广西柳州、湖南会同、河南信阳三地杉木人工林与天然次生阔叶林相比,表层土壤微生物数量较少以及群落结构的改变主要是杉木人工林系统生物多样性较天然次生阔叶林下降、土壤养分降低、土壤中微生物可利用营养物质较少及土壤微环境恶化所致。

3.3 土壤生物活性变化

广西柳州、湖南会同、河南信阳三地杉木人工林取代天然次生阔叶林后,表层土壤除多酚氧化酶外其他土壤酶活性均显著下降(表 4)。3 个不同地区杉木人工表层土壤脲酶活性与天然次生林相比分别降低了 55.56%、32.50% 和 63.83%,差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。与天然林相比,杉木纯林表层土壤蔗糖酶活性也显著下降,3 个不同地区表层土壤蔗糖酶分别下降了 78.42%、78.56% 和 51.02%,差异均达到极显著性水平($P < 0.01$)。杉木人工林过氧化氢酶活性分别下降了 33.33%、27.78% 和 38.10%,广西柳州和湖南会同两地林地表层土壤过氧化氢酶活性差异显著($P < 0.05$),而河南信阳杉木人工林和天然次生林相比差异达到极显著水平($P < 0.01$)。与天然次生林相比,杉木人工林表层土

表 2 杉木人工林取代天然次生阔叶林土壤养分的变化

Table 2 Change of soil nutrition after Chinese fir plantations replacing natural secondary broad-leaved forests

林型 Forest types	有机碳 TOC ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷 Total P ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碳氮比 C/N	碳磷比 C/P	pH (KCl)
广西天然次生林 GA	45.95 ± 6.86	3.13 ± 0.12	0.46 ± 0.04	14.63 ± 1.61	100.43 ± 8.74	3.80 ± 0.06
广西杉木人工林 GB	19.19 ± 1.39**	1.79 ± 0.38**	0.30 ± 0.02**	10.90 ± 1.46*	63.69 ± 9.28**	3.50 ± 0.06**
湖南天然次生林 NA	29.99 ± 6.32	2.20 ± 0.09	0.24 ± 0.02	13.55 ± 1.25	131.61 ± 11.60	3.90 ± 0.15
湖南杉木人工林 NB	19.02 ± 0.78*	1.58 ± 0.22**	0.18 ± 0.01**	12.14 ± 2.36	99.85 ± 7.65*	3.60 ± 0.10*
河南天然次生林 HA	48.30 ± 4.15	4.71 ± 0.22	0.75 ± 0.06	10.36 ± 0.80	72.12 ± 22.42	5.40 ± 0.12
河南杉木人工林 HB	33.08 ± 4.16**	3.18 ± 0.16*	0.59 ± 0.04**	10.30 ± 0.42	64.50 ± 2.53	4.10 ± 0.06**

不同地区杉木人工林分别与该地区天然次生阔叶林相比较 Comparing Chinese fir plantations with natural secondary broad-leaved forests in different regions. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. 下同 The same below.

表 3 杉木人工林取代天然次生阔叶林土壤细菌和真菌数量的变化

Table 3 Change of soil bacterial and fungal numbers after Chinese fir plantations replacing natural secondary broad-leaved forests

土壤微生物数量 Soil microbial number	广西天然 次生林 GA	广西杉木 人工林 GB	湖南天然 次生林 NA	湖南杉木 人工林 NB	河南天然 次生林 HA	河南杉木 人工林 HB
细菌 Bacteria($10^6\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	8.47 ± 1.18	3.47 ± 0.48**	25.02 ± 1.29	2.94 ± 0.83*	18.66 ± 5.61	4.32 ± 1.46*
真菌 Fungi($10^5\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	3.45 ± 0.88	0.96 ± 0.13**	3.36 ± 0.08	1.91 ± 0.05**	1.80 ± 0.22	1.29 ± 0.14*

壤脱氢酶活性分别下降了 25.85%、62.50% 和 83.89%；除广西柳州两块林地差异达显著性水平 ($P < 0.05$) 外, 其他两个地区杉木人工林表层土壤脱氢酶活性与天然次生阔叶林相比差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。杉木人工林表层土壤多酚氧化酶活性呈现增加趋势, 三个地区杉木人工林与天然次生林相比分别增加 40%、8% 和 18.18%。广西柳州杉木人工林表层土壤多酚氧化酶活性与天然次生林相比差异达到极显著水平 ($P < 0.01$), 而其它两个地区差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

土壤酶主要来自土壤微生物, 此外也可能由植物或土壤动物产生^[2,34]。土壤酶活性受多种因素(如土壤有机碳数量、质量, 土壤离子浓度, 地上植被组成, 环境气候)影响^[8,12,25]。杉木人工林取代天然次生林后林地表层土壤酶活性降低, 原因可能是人工林表层土壤有机碳含量降低, 能够提供给土壤微生物生长代谢的营养物质较少, 使得土壤微生物代谢活性下降, 从而降低了土壤酶的活性。杉木人工林土壤多酚氧化酶活性升高, 则可能是由于土壤多酚氧化酶活性与土壤腐殖化程度呈负相关^[29]。杉木凋落物难于分解, 土壤腐殖化程度较低^[16,31]。此外, 研究发现, 立地条件相对差的林地的植物会产生相对多的多酚类等物质^[4]。杉木人工林土壤中可能积累过量的多酚类物质, 刺激了多酚氧化酶活性的增加。

土壤的生化反应都是在土壤酶的参与下完成的, 土壤酶活性能很好表征土壤生物活性变化。土壤酶在土壤有机质积累、土壤养分循环中起重要作用, 土壤的微小变化就能对土壤酶产生显著影响。因此, 土壤酶活性能为土壤质量变化提供快速、准确的信息^[22]。土壤脲酶能够酶促尿素水解, 产生氨和碳酸, 是林木 N 素营养的直接来源。而土壤蔗糖酶参与土壤 C 素循环, 为土壤微生物提供能量物质^[30]。过氧化氢酶、脱氢酶、多酚氧化酶是土壤中的氧化还原酶, 它们参与土壤腐殖质组分的合成^[10,29]。杉木人工林取代天然次生阔叶林后土壤脲酶、蔗糖酶、过

氧化氢酶及脱氢酶活性降低, 表明杉木人工林表层土壤生化反应强度较低, 表层土壤生物活性降低。土壤多酚氧化酶活性的增加表明杉木人工林土壤可能积累较多的酚类物质, 土壤腐殖化程度低, 土壤肥力质量较差。

土壤呼吸释放 CO_2 量是土壤生物活性的综合指标^[22]。其主要来源于土壤微生物、土壤动物和植物根系的呼吸作用及土壤生化反应 3 个方面^[32]。杉木人工林取代天然次生阔叶林后表层土壤呼吸 CO_2 释放量明显降低(表 4)。与天然次生阔叶林相比, 杉木人工林土壤呼吸 CO_2 释放量分别下降了 54.48%、53.42% 和 51.15%, 差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。这可能是由于杉木人工林土壤微生物数量、活细根量减少及土壤生化反应强度下降引起的。杉木人工林表层土壤呼吸 CO_2 释放量的减少表明杉木人工林表层土壤生物活性显著下降。

3.4 林地表层土壤总有机碳与土壤全氮、全磷、土壤酶活性的相关性

由表 5 可见, 林地表层土壤总有机碳与土壤全氮、全磷以及各种土壤酶活性均有较好的相关性。土壤有机碳与土壤全氮、全磷、土壤脲酶活性、土壤蔗糖酶活性、土壤过氧化氢酶活性以及土壤脱氢酶活性均呈显著正相关 ($P < 0.05$)。林地表层土壤总有机碳与表层土壤多酚氧化酶活性呈负相关 ($R = -0.723, P < 0.05$)。

土壤有机质是土壤养分的源和库, 因此土壤中有机碳的数量能影响土壤中 N、P 等其他土壤养分含量。释放到土壤中的酶通常以腐殖质-酶复合体的形式存在^[6], 土壤有机质是影响土壤酶活性一个重要因素。反过来, 土壤酶参与土壤有机质的积累、转化和矿化过程, 能影响土壤有机碳的量。林地表层土壤总有机碳与土壤全氮、全磷和土壤酶活性的相关性分析表明, 森林表层土壤有机质能够影响林地表层土壤养分含量及土壤酶活性。

表 4 杉木人工林取代天然次生阔叶林土壤生物活性的变化

Table 4 Change of soil biological activity after Chinese fir plantations replacing natural secondary broad-leaved forests

林型 Forest types	脲酶 Urease ($\text{NH}_3\text{-N mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)	蔗糖酶 Invertase (Glucose $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)	过氧化氢酶 Catalase ($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{KMnO}_4 \text{ ml}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)	脱氢酶 Dehydrogenase ($\text{H}^+ \mu\text{l}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (Gallic acidic $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)	土壤呼吸强度 Soil respiration ($\text{CO}_2\text{-C } \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{soil}$)
广西天然次生林 GA	0.36 ± 0.03	36.29 ± 0.74	0.18 ± 0.02	0.12 ± 0.01	188.49 ± 19.41	0.39 ± 0.02
广西杉木人工林 GB	0.16 ± 0.00**	7.83 ± 0.98**	0.12 ± 0.00*	0.20 ± 0.01**	139.77 ± 4.53*	0.18 ± 0.00**
湖南天然次生林 NA	0.40 ± 0.03	43.47 ± 0.68	0.18 ± 0.02	0.23 ± 0.01	375.02 ± 41.05	0.69 ± 0.04
湖南杉木人工林 NB	0.27 ± 0.01**	9.32 ± 0.18**	0.13 ± 0.02*	0.25 ± 0.01*	140.62 ± 14.68**	0.32 ± 0.03**
河南天然次生林 HA	0.47 ± 0.05	23.15 ± 0.33	0.21 ± 0.01	0.18 ± 0.00	1337.60 ± 35.57	0.89 ± 0.07
河南杉木人工林 HB	0.17 ± 0.04**	11.34 ± 1.36**	0.13 ± 0.01**	0.22 ± 0.01*	215.51 ± 6.06**	0.44 ± 0.05**

表 5 林地表层土壤总有机碳与土壤全氮、全磷、土壤酶活性的相关性

Table 5 Correlation between soil total organic carbon(TOC) and soil total N, total P and soil enzyme activities

	全氮 Total N	全磷 Total P	脲酶活性 Urease activity	蔗糖酶活性 Invertase activity	过氧化酶活性 Catalase activity	脱氢酶活性 Dehydrogenae activity	多酚氧化酶活性 Polyphenol oxidase activity
皮尔逊相关系数 Pearson correlation	0.877	0.784	0.705	0.519	0.811	0.620	-0.723
双尾显著性 Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.001	0.027	0.000	0.006	0.001

4 讨 论

在自然界中很难找到立地条件完全一致的天然次生林和杉木人工林。因此,本文从大尺度上比较了广西柳州、湖南会同、河南信阳三个地区杉木人工纯林取代天然次生阔叶林后表层土壤的养分、微生物数量以及土壤生物活性等指标的变化。结果表明,与天然次生阔叶林相比,杉木人工林表层土壤养分含量降低、微生物数量减少、生物活性下降。相关分析表明,杉木人工林表层土壤有机碳数量与表层土壤全氮、全磷、土壤脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶及土壤脱氢酶活性正相关,而与土壤多酚氧化酶活性负相关。杉木人工林表层土壤有机碳含量的减少可能是导致杉木人工林表层土壤 N、P 养分含量降低、微生物数量减少、生物活性下降的一个重要因素。

土壤有机质是影响土壤生态过程和生态功能的重要因素。杉木人工林取代天然次生林过程中由于木材的大量移出以及炼山、整地等不合理措施导致林地土壤有机质大量损耗。此外,由于杉木人工林生态系统生物多样性较天然次生阔叶林生态系统低、杉木凋落物难于分解等因素,其土壤有机质质量亦变差。杨玉盛等^[31]研究发现,杉木人工林取代天然次生阔叶林后土壤有机质和腐殖酸类含量下降,腐殖化度减弱,品质下降,腐殖质结合态改变,腐殖质活化度减少。汪思龙等^[27]研究杉木林、不同混交林及阔叶林土壤活性有机质发现杉木林土壤活性有机质含量最低。杉木人工林取代天然次生阔叶林过程中,土壤有机质数量减少和质量下降,进而导致杉木人工林土壤养分状况、土壤微生物数量、群落结构及土壤生物活性的改变。

大量研究已表明,营造杉阔混交林、建立农林复合生态系统、合理施肥、减少炼山、合理整地等管理措施能有效提高杉木人工林土壤质量^[5, 15, 18, 19, 21, 23, 33],有利于实现杉木人工林的长期生产力的稳定与提高。今后,进一步加强有关杉木人工林土壤有机质与土壤生态过程和功能关系及如何维护和提高杉木人工林土壤有机质数量和质量的研究,

将有助于对杉木人工林土壤质量衰退机理的理解,利于维护和提高杉木人工林土壤质量,实现杉木人工林可持续发展。

参考文献

- 1 Badiane NNY, Chotte JL, Pate E, *et al.* 2001. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. *Appl Soil Ecol*, 18(3):229~238
- 2 Bandick AK, Dick RP. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol Biochem*, 31(11):1471~1479
- 3 Bardgett RD. 1999. Plant species and nitrogen effects on soil biological properties of temperate upland grasslands. *Func Ecol*, 13:650~660
- 4 David AW. 2002. Communities and Ecosystems: Linking the Above-ground and Belowground Components. New Jersey: Princeton University Press. 56~104
- 5 Ding G-J(丁贵杰), Zhou Z-X(周政贤), Yan R-F(严仁发), *et al.* 1997. Study on the effect of soil preparation on growth and economic benefits of Chinese fir. *For Res(林业科学研究)*, 10(2):118~124(in Chinese)
- 6 Espeland EM, Wetzel RG. 2001. Complexation, stabilization, and UV photolysis of extracellular and surface-bound glucosidase and alkaline phosphatase: Implications for biofilm microbiota. *Microbiol Ecol*, 42(4):572~585
- 7 Fisk MC, Ruether KF, Yavitt JB. 2003. Microbial activity and functional composition among northern peatland ecosystems. *Soil Biol Biochem*, 35(4):591~602
- 8 Frankenberger WT, Bingham FT. 1984. Influence of salinity on soil enzyme activities. *Soil Sci Soc Am J*, 46:1173~1177
- 9 Glaser B, Turrión MB, Solomon D, *et al.* 2000. Soil organic matter quantity and quality in mountain soils of the Alay Range, Kyrgyzia, affected by land use change. *Biol Fert Soils*, 31:407~413
- 10 Guan S-Y(关松荫). 1986. Soil Enzyme and Study Method. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 11 Granston SJ, Wang S, Campbell CD, *et al.* 1998. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol Biochem*, 30(3):369~378
- 12 Grierson PF, Adams MA. 2000. Plant species affect acid phosphatase, ergosterol and microbial P in a Jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Sm.) forest in south-western Australia. *Soil Biol Biochem*, 32(13):1817~1827
- 13 Jimenez MP, Horra AM, Fruzzo L, *et al.* 2002. Soil quality: A new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol Fert Soils*, 35:302~306
- 14 Knoepp JD, Coleman DC, Crossley DA, *et al.* 2000. Biological indices of quality: An ecosystem case study of their use. *For Ecol Man*, 138(1~3):357~368
- 15 Liao L-P(廖利平), Chen C-Y(陈楚莹), Zhang J-W(张家武), *et al.* 1995. Turnover of fine roots in pure and mixed *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurie* forests. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 6(1):7~10(in Chinese)
- 16 Liao L-P(廖利平), Wang S-L(汪思龙), Gao H(高洪), *et al.* 2000. Foliar litter decomposition of Chinese fir and main broad-leaved plantation species in subtropics. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 11(supp.):141~145(in Chinese)
- 17 Liao L-P(廖利平), Yu X-J(于小军), Huang Z-Q(黄志群), *et al.*

2000. Effect of fertilization on fine-root and biomass growth of Chinese fir sapling planted on different soils of successive rotations. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(supp.): 159~162(in Chinese)
- 18 Lin K-M(林开敏), Hong W(洪伟), Yu X-T(俞新妥), et al. 2001. Decomposition interaction of mixed litter between Chinese fir and various accompanying plant species. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(3): 321~325(in Chinese)
- 19 Ma X-Q(马祥庆), Yang Y-S(杨玉盛), Lin K-M(林开敏), et al. 1997. Effect of different ground clearance on Chinese fir plantation ecosystem. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 17(2): 176~183(in Chinese)
- 20 Meril P, Strmmer RS, Fritze H. 2002. Soil microbial activity and community structure along a primary succession transect on the land-uplift coast in western Finland. *Soil Biol Biochem*, 34(11): 1647~1654
- 21 Montagnini F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantation in a humid tropical lowland. *For Ecol Man*, 134(1~3): 257~270
- 22 Pascual JA, Garcia C, Hernandez T, et al. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biol Biochem*, 32(13): 1877~1883
- 23 Sanchez FG, Carter EA, Klepac JF. 2003. Enhancing the soil organic matter pool through biomass incorporation. *Biom Bioe*, 24: 337~349
- 24 Santo AVD, Rutigliano FA, Berg B, et al. 2002. Fungal mycelium and decomposition of needle litter in three contrasting coniferous forests. *Acta Oecol*, 23: 247~259
- 25 Shackle VJ, Freeman C, Reynolds B. 2000. Carbon supply and the regulation of enzyme activity in constructed wetlands. *Soil Biol Biochem*, 32(13): 1935~1940
- 26 Shan X-Z(单秀枝), Wei Y-Q(魏由庆), Yan H-J(严慧峻), et al. 1998. Influence of organic matter content on soil hydrodynamic parameters. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 35(1): 1~9(in Chinese)
- 27 Wang S-L(汪思龙), Liao L-P(廖利平), Yu X-J(于小军), et al. 2000. Accumulation of organic carbon and changes of soil structure in ecological restoration processes of degraded *Cunninghamia lanceolata* plantation soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(supp.): 191~196(in Chinese)
- 28 Wu W-D(吴蔚东), Zhang T-L(张桃林), Sun B(孙波), et al. 2000. Degradation and control of soil organic matter and nutrient pool under artificial Chinese fir forest. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 37(1): 41~49(in Chinese)
- 29 Yan X-S(严旭升). 1988. Study Method of Soil Enzyme. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 30 Yang Y-S(杨玉盛), Qiu R-H(邱仁辉), Yu X-T(俞新妥), et al. 1999. Study on soil microbes and biochemical activity in the continuous plantations of *Cunninghamia lanceolata*. *Chin Biodiver* (生物多样性), 7(1): 1~7(in Chinese)
- 31 Yang Y-S(杨玉盛), Yang L-Z(杨伦增), Yu X-T(俞新妥), et al. 1996. Change in composition and properties of soil humus following replacement of broad-leaved forest by Chinese fir plantation. *J Fujian Coll For* (福建林学院学报), 16(2): 97~100(in Chinese)
- 32 Yi Z-G(易志刚), Yi W-M(蚁伟民). 2003. Proceeding of studies on soil respiration of forest ecosystem. *Ecol Environ* (生态环境), 12(3): 361~365(in Chinese)
- 33 Ying J-H(应金花), He C-M(何宗明), Fan S-H(范少辉), et al. 2001. Effects of site management on some soil properties of a second-rotation plantation of Chinese fir. *Soil Environ* (土壤与环境), 10(30): 201~203(in Chinese)
- 34 Zimmermann S, Frey B. 2002. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: Effects of wood ash. *Soil Biol Biochem*, 34(11): 1727~1737

作者简介 胡亚林,男,1979年生,硕士研究生.主要从事土壤微生物生态研究,发表论文多篇. E-mail: huyalin001@hotmail.com
