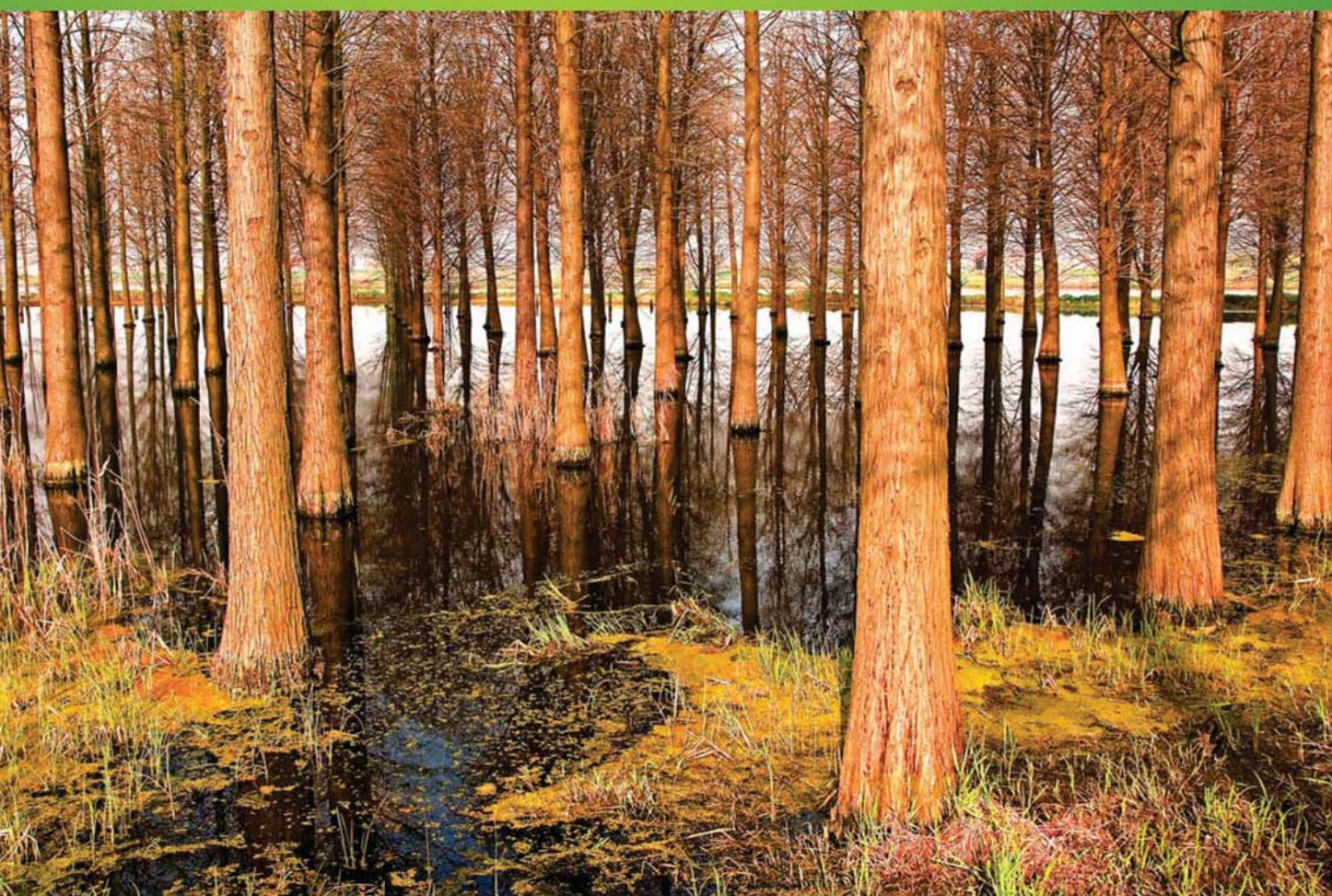


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108311276

王洪岩, 王文杰, 邱岭, 苏冬雪, 安静, 郑广宇, 祖元刚. 兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异. 生态学报, 2012, 32(3): 833-843.

Wang H Y, Wang W J, Qiu L, Su D X, An J, Zheng G Y, Zu Y Y. Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in *Larix gmelinii* plantations in Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 833-843.

兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤 有机碳储量随林分生长的变化差异

王洪岩, 王文杰*, 邱岭, 苏冬雪, 安静, 郑广宇, 祖元刚

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要:有关生物量碳随林分生长变化研究较多,而相关土壤有机碳储量随林分生长变化研究较少且结论争议较大。通过对二者随林分生长变化差异的比较,旨在探讨是否可以通过简单林分生长指标来判断土壤有机碳的变化规律。对兴安落叶松人工林分布区内 139 个样地的生物量与土壤碳动态研究结果表明:(1)林龄是指示生物量碳累积的可靠参数。兴安落叶松个体大小(胸径、树高和单株生物量)随着林龄的增大不断增加,相关性显著($P < 0.001$),而林分生物量密度随林龄的增大呈线性上升($R^2 = 0.2-0.6, P < 0.001$)。(2)地表凋落物量与林龄表现显著的二次曲线相关,前 37a 上升而后开始下降。地表凋落物量与林木大小、生物量密度均相关显著($R^2 = 0.14-0.82, P < 0.001$),但与树高相关性最高,显示树高变化对于评价地表枯落物生物量可能更有效。(3)林龄、林木大小和林分生物量密度均与土壤不同层碳存在相类似的相关关系。深层土壤有机碳(>40cm)与林龄显著负相关($P < 0.05$),表层土壤有机碳有增加趋势($P > 0.05$),这使得 0—40 cm 与 40—80 cm 土壤有机碳储量比值随林龄增加而显著增加($P < 0.01$);与此类似,林木平均大小也与深层土壤有机碳显著负相关($P < 0.05$),而表层与深层有机碳储量比值随林木大小(胸径与树高)的增大也呈显著上升趋势($P < 0.05$);但同时考虑林木个体大小和林分密度的林分生物量密度(地上和地下),并没有发现明显的显著相关关系。这些结果说明,评价土壤有机碳变化的指标中,林龄、树高和胸径可能更优于较为复杂的生物量密度等指标。考虑到深层土壤较表层具有更长期的稳定性,这种表层与深层土壤有机碳比值的增加,意味着土壤碳有向表层积聚而深层减少的趋势,这可能使得土壤有机碳更容易受外界环境变化(如火灾等)的影响。落叶松人工林群落碳储量随林龄增加的变化规律明显,除了占主要部分的生物量碳之外,土壤碳累积值得关注,这一发现对于以固碳增汇为目标的碳汇林建设具有指导意义。

关键词:兴安落叶松;人工林;林龄;生物量;土壤有机碳

Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in *Larix gmelinii* plantations in Northeast China

WANG Hongyan, WANG Wenjie*, QIU Ling, SU Dongxue, AN Jing, ZHENG Guangyu, ZU Yuangang

Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: In despite of many researches on relations between biomass carbon and tree growth, the similar soil organic carbon (SOC) relations were rarely surveyed and conclusions are also controversial to date. Through the clarification of these growth-related differences between biomass and SOC, we tried to explore some simple indicators for identifying the changes of SOC during forest development. An investigation was carried out on the biomass, aboveground litter mass and SOC dynamics of 139 chronosequence plots of larch plantation forests in Northeast China. Our results showed that: 1) Tree

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(DL09CA17, DL12DA03);中国博士后基金(20080430126);国家自然科学基金(40873063, 31170575);人事部留学归国博士后入站项目资助

收稿日期:2011-08-31; 修订日期:2011-12-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wjwang225@hotmail.com

age was a credible parameter to describe biomass carbon changes. Significant linear correlations between larch body size (DBH: diameter at breast height, tree height and plant biomass) and tree age were observed ($P < 0.001$). Similarly, significant increases in stand biomass density (biomass per one unit area of soil) with tree age were also observed ($R^2 = 0.35-0.6$, $P < 0.001$); 2) Surface litter mass was quadratically related with tree age, i. e., obvious escalation before the age of 37, but decrease thereafter was observed ($P < 0.05$). Other growth parameters, such as DBH, tree height, tree size as well as biomass density were linearly correlated with the litter mass above soil surface ($R^2 = 0.14-0.82$, $P < 0.001$), and the best correlation was found in tree height. Thus, tree height should be the optimal parameter to evaluate the changes of litter mass in larch plantations; 3) Various parameters of tree age, tree size and biomass density had rather similar relations with SOC storage in different soil layers. In general, SOC in deep soils (>40 cm) was negatively correlated with plantation age, while positive mounting SOC was found in the surface soil (but without statistical significance ($P > 0.05$)). This contrary changes made the SOC ratio between 0—40 cm and 40—80 cm increased significantly with plantation age ($P < 0.01$). Similarly, the tree size parameters were significantly negatively correlated with deep SOC ($P < 0.05$) and the ratio between surface and deep soil SOC also displayed a significant upward trend with increasing DBH and tree height ($P < 0.05$). However, stand biomass density (above and below ground), which has taken the individual tree size and tree density into account, did not significantly correlated with the SOC changes ($P > 0.05$). These results suggested that the simple parameters of stand age, tree height and DBH are even better than some sophisticated parameters (e. g. biomass density) for evaluating the change of SOC (both vertical distribution and absolute storage). Owing to the fact that SOC in deep soil is more stable than that in surface, the increase of SOC ratio indicates that more SOC may accumulate in surface layer, and this will be a risk of soil carbon return atmosphere (for example in a fire). In all, carbon storage changes during the development of larch plantation forests is obvious both aboveground and belowground. Besides the main part of biomass carbon, soil carbon is also remarkable and should be carefully considered in carbon budget studies. This discovery is of a guiding significance for the afforestation of carbon sink larch forests in northeastern China.

Key Words: *Larix gmelinii*; plantation forests; stand age; biomass; soil organic carbon

兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 是我国东北地区三大针叶用材林树种之一, 其林分面积大, 蓄积量多, 面积和蓄积分别占我国寒温带有林地面积和蓄积量的 55% 和 74%, 且在间有永冻层的条件下能保持惊人的生长速度^[1-2]。作为一种落叶针叶树种, 它的碳吸收能力却与常绿树种相似^[3], 而其高光合能力显示出落叶松林可以吸收更多的温室气体^[4]。近年来对地上生物量累积导致林分碳汇显著增加的研究较多, 而且结论比较一致^[5-9]。土壤有机碳储量巨大, 大约是地上生物量碳贮量的 3 倍^[10], 其变化直接影响生态系统碳汇、碳源的性质, 凸显土壤有机碳的重要性。京都议定书和后续 IPCC 2007 报告均把人工林营建所导致的碳汇增加作为可以抵消工业碳排放的指标, 使得各国科学家和政府对于人工林的碳汇功能更加重视, 林分生长过程对土壤碳截获影响值得研究。对老龄林的碳汇功能研究发现, 老龄林生态系统并没有达到碳中性, 其碳汇功能不可忽视^[11], 其中重要方面可能来自地下土壤有机碳的持续累积^[12], 显示林龄对生态系统碳汇的影响可能与传统看法存在差异^[11]。

我国东北林区地处北半球高纬度地区, 是全球气候变化反应最为敏感的地区之一。这一地区也是我国重要的用材林产区, 营造了大面积的速生丰产林, 一半以上为落叶松人工林。有研究认为, 落叶松林下土壤碳密度随退耕还林年限先降低后增加^[13], 而东北地区退耕还林过程中落叶松人工林生长可以导致表层土壤碳累积线性增长, 其速率可高达 $96 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[14]。但是, 目前测定方法多以空间代替时间方法, 很难准确测定而且结果可靠性差^[14], 是否可以用林分生长相关简单易测定因子对生态系统不同组分碳累积进行评价? 这方面研究比较匮乏, 尚需要更多实测数据^[15-16]。基于此, 本文以东北地区典型的速生丰产林——落叶松人工林为研究对象, 以不同栽植年代的落叶松人工林为研究对象, 通过年代序列采样 (139 个样地合计 500 多个土壤剖

面),对生物量和土壤有机碳储量随林分生长变化进行研究,探讨是否可以通过简单林分生长指标来判断土壤相关有机碳的变化规律。

1 研究地点、材料和方法

1.1 研究地区概况

本研究区位于兴安落叶松人工林分布的核心地区(N45°20′—47°14′, E127°30′—128°55′,图1),属长白山张广才岭山脉和小兴安岭山脉,地带性土壤为暗棕壤,并包括多个亚类,如白浆化暗棕壤等。该地区气候属于大陆性季风气候,冬季漫长严寒,夏季潮湿多雨,年平均温度1.4—2.4℃,年降水量600—800 mm,雨量集中于6—8月份,年蒸发量1093 mm,全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温为2300—2700℃。

1.2 土壤样品采集与有机碳测定

利用空间替代时间样地方法-年代序列方法^[17-18],根据栽植年代记录档案及实地调查和访问,选取立地条件(坡度、坡向和海拔高度)基本相同、不同栽植年代的退耕还林落叶松林地,以确保不同样地之间的差异主要来自于林分生长,尽量减少非年龄因素的影响幅度^[17]。

样地大小为20 m×20 m,每个样地按照对角线法,挖4个土壤剖面(土壤剖面大小为2 m长、1 m宽、0.8 m深),用环刀在每一土层取土样,每20 cm一层。每个样地的4个土壤剖面相同层次的土壤混合为一个土壤样装入土壤袋中,构成每个样地0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm和60—80 cm土壤样品。同时采用环刀法测量土壤容重。样品带回实验室,经自然风干后,除去根系和石砾,粉碎后过0.25 mm土壤筛装瓶。共设置样地139个,以保证大样本数据的要求,以求获得更为准确的结果。前人研究认为大数据样本能够显著提高年代序列样地方法的可靠性和准确度^[18]。

土壤有机碳采用重铬酸钾-外加热法测定^[19]。某一土层*i*的有机碳储量(SOC_{*i*}, g/cm²)的计算公式为:

$$\text{SOC}_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i)$$

式中, C_i 为土壤有机碳含量(g/kg), D_i 为容重(g/cm³), E_i 为土层厚度(cm), G_i 为直径大于2 mm的石砾所占的体积百分比(%)。

1.3 样地平均木大小、林分生物量密度及林龄测定

在兴安落叶松人工林内设面积为20 m×20 m调查样地,对样地内所有的林木胸径(*D*)和树高(*H*)进行测定,并计算样地内林分密度(ρ)。对每块样地内的落叶松个体进行每木检尺,确定树木胸径范围和树干的范围。并据此范围,在所测样地(帽儿山)选取14株林木进行采伐,并测定树干、树枝、叶片、树根等的干生物量。使用相对生长公式: $W = a(D^2H)^b$,式中*W*为各器官生物量(干重),*D*为林木胸径,*H*为树高,*a*、*b*为系数,对上述原始数据进行拟合,获得拟合方程(表1),用于139块样地各生物量指标的测定。在具体分析中,林木大小使用胸径(DBH)、树高和单株生物量大小(树干、树枝、叶片和根系生物量之和)来表示。生物量密度是指单位面积土地上各种不同器官生物量,即单株各器官生物量与林分密度的乘积。本文所用林分生长指标包括林木大小、林龄以及生物量密度大小。

地表枯落物总量采用地表收集法,即每个样地划定20 cm×20 cm的样方4个,测定枯枝落叶厚度并收集所有的枯枝落叶,在60℃烘干称重^[13]。林木年轮的测定采用生长锥采样法,每个样地至少采集5个完整的生长锥样品。

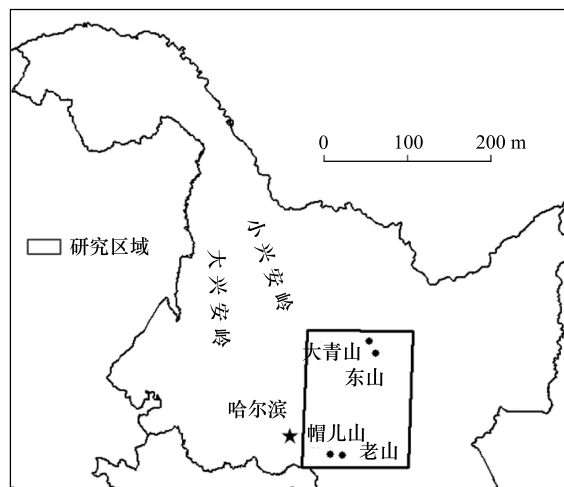


图1 研究样地分布图

Fig. 1 Distribution of sampling plots of *Larix gmelinii* plantations

表 1 兴安落叶松各器官干重与胸径的回归方程

Table 1 Regression equations of dry weight of organs and DBH of <i>Larix gmelinii</i>			
器官 Organs	回归方程 Regression equation	R^2	P
干材 Stem	$W_s=0.0286 (D^2 H)^{0.9756}$	0.9899	<0.001
枝 Branch	$W_b=0.0213 (D^2 H)^{0.7165}$	0.9025	<0.001
叶 Leaf	$W_l=0.0078 (D^2 H)^{0.6701}$	0.8519	<0.001
根系 Root	$W_r=0.0164 (D^2 H)^{0.904}$	0.9364	<0.001

1.4 数据分析

基于年代序列方法分析土壤有机碳储量与林分生长关系时,多数情况下采用年龄-SOC 储量相关分析的方法进行^[13,17,20]。这种处理方法的问题在于很难去除土壤异质性对结果的影响。兴安落叶松为浅根性树种,根系一般分布于 40 cm 以内的土壤层中^[21],因此落叶松生长对深层土壤,如 40—60 cm 以及 60—80 cm 土壤的影响已经较表层土壤(如 0—20 cm 和 20—40 cm)有机碳的影响小的多。因此,在使用传统的年龄-SOC 相关分析的基础上,假设深层土壤没有受到落叶松生长的影响,表层土壤与深层土壤 SOC 的比值可以作为落叶松林生长影响土壤有机碳的指标,通过分析表层土壤与深层土壤 SOC 比值随林龄变化,来确定林龄对土壤有机碳的影响,这样,以深层土壤为对照,可以消除土壤异质性对结果的可能影响。如果表层土壤的有机碳与深层土壤有机碳的比值随林龄增加,则证明落叶松林下土壤碳汇功能显著增加,反之说明这种作用不明显。

所有样地数据均使用 Excel 2003 进行统计分析,林龄与地上生物量、地表枯枝落叶量的相关性分析(线性相关和二项式相关);林龄与土壤有机碳储量及表层与深层土壤有机碳比值;林木大小、生物量密度对土壤有机碳储量、SOC 垂直分布的相关性分析及显著性检验使用回归分析完成。

2 结果

2.1 兴安落叶松不同生长指标林龄与个体大小的相关关系

从图 2 可知,在落叶松成林过程中,随着落叶松林龄的增加,胸径平均每年增加 0.62 cm,林龄与胸径显著正相关($R^2=0.7,P<0.0001$)。随着落叶松林龄的增加,树高也随之增加,平均每年增加 0.55 m,林龄与树高相关性显著($R^2=0.73,P<0.0001$)。单株生物量平均每年增加 8.9 kg,林龄与单株生物量相关性显著($R^2=0.66,P<0.0001$)。

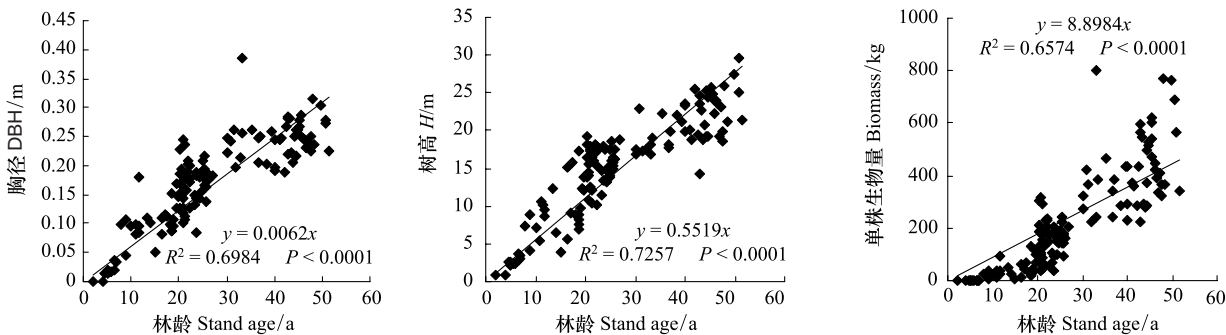


图 2 兴安落叶松林龄对个体大小的影响

Fig. 2 Effects of *Larix gmelinii* plantation age on tree body size

2.2 兴安落叶松人工林林分生物量密度随林龄的变化

在落叶松成林过程中,随着落叶松林龄的增大,枝生物量平均每年增加 0.32 t/hm²,林龄与枝生物量显著正相关($R^2=0.31,P<0.0001$)。随着落叶松林龄的增大,叶生物量也随之增加,平均每年增加 0.08 t/hm²,林龄与叶生物量相关性显著($R^2=0.2,P<0.0001$)。干材生物量平均每年增加 4.53 t/hm²,二者相关性显著

($R^2=0.6, P<0.0001$)。落叶松人工林根生物量随林龄呈线性增长, 平均每年增加 1.35 t/hm^2 , 林龄与根生物量相关性显著($R^2=0.55, P<0.0001$)。

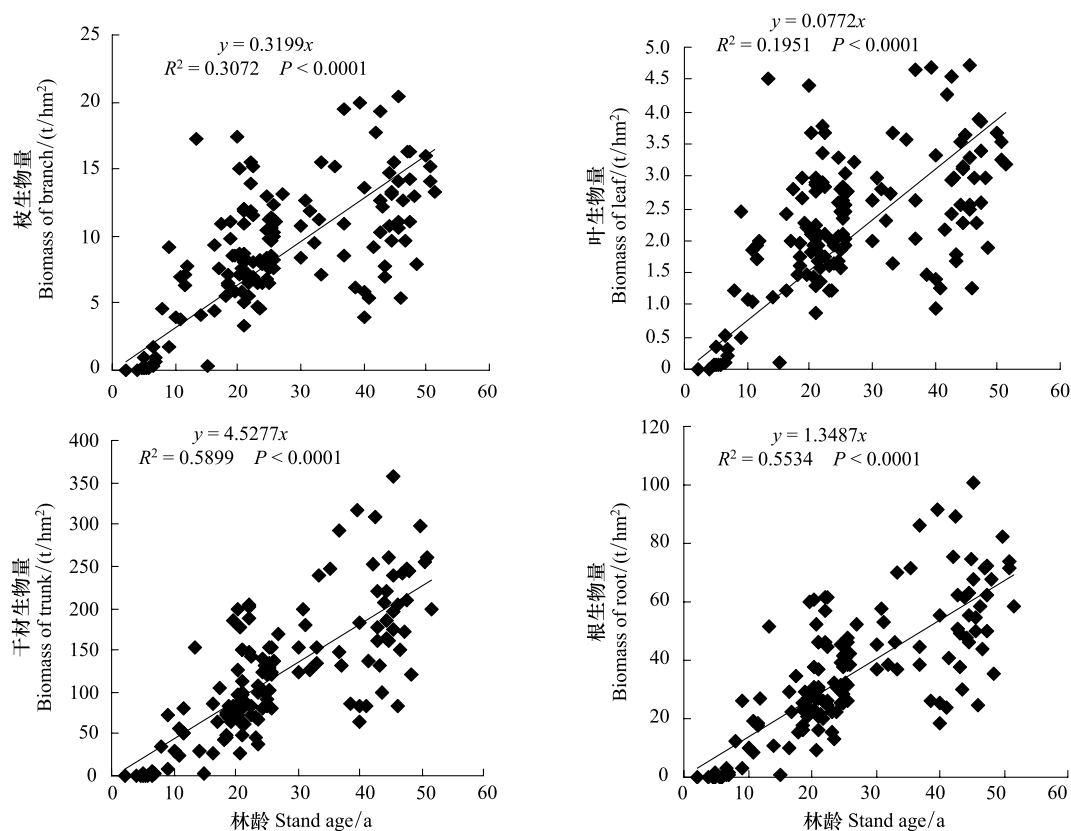


图3 兴安落叶松林龄对不同器官活生物量的影响

Fig. 3 Effects of *Larix gmelinii* plantation age on living biomass of different organs

2.3 兴安落叶松林龄、树木大小和生物量密度对地表枯落物总量的影响

落叶松人工林地表枯落物总量随林龄的变化而变化, 呈显著的二次曲线相关(图4, $P<0.01$), 模拟地表枯落物总量与林龄的关系, 得到二次曲线方程关系: $y = -0.0984x^2 + 6.8235x + 36.486$, $R^2=0.4252$ 。对此二次曲线求导, 37a 时二次曲线的导数为零。因此, $<37\text{a}$ 地表枯落物量呈明显上升趋势, 而 $>38\text{a}$ 地表枯落物量呈下降趋势。与林龄、胸径和生物量密度相比, 落叶松地表枯落物总量与树高具有的相关性最高($R^2=0.82, P<0.0001$), 树高增加 1 m , 凋落物增加 76.27 g/m^2 , 而地表枯落物总量与胸径相关性显著($R^2=0.34, P<0.001$)、与生物量密度相关性($R^2=0.14, P<0.001$)较小。

2.4 兴安落叶松人工林林龄、林木大小及生物量密度对不同层土壤有机碳的影响

从图5可以看出, 落叶松林龄与 $0\text{—}20 \text{ cm}$ 和 $20\text{—}40 \text{ cm}$ 土壤有机碳没有相关性($P>0.05$)。随着林龄的增加, $40\text{—}60 \text{ cm}$ 土壤有机碳储量呈下降趋势, 有机碳储量平均每年下降 0.0025 g/cm^2 , 林龄与 $40\text{—}60 \text{ cm}$ 土壤有机碳储量相关性显著($R^2=0.047, P<0.05$)。 $60\text{—}80 \text{ cm}$ 土壤有机碳储量随林龄增加而呈明显下降的趋势($R^2=0.055, P<0.05$)。

林木大小、生物量密度对不同层土壤有机碳的影响见表2, 落叶松胸径与 $0\text{—}60 \text{ cm}$ 土壤有机碳没有相关性($P>0.05$), 而与 $60\text{—}80 \text{ cm}$ 土壤有机碳显著负相关($R^2=0.0325, P<0.05$)。同样树高也与深层土壤有机碳($60\text{—}80 \text{ cm}$)显著负相关($R^2=0.029, P<0.05$)。在落叶松成林过程中落叶松根系大小与表层土壤($0\text{—}40 \text{ cm}$)有机碳没有相关性($P>0.05$), 根系大小与 $40\text{—}60 \text{ cm}$ 、 $60\text{—}80 \text{ cm}$ 有机碳储量呈显著线性负相关($R^2=0.0319\text{—}0.043, P<0.05$)。落叶松地上部分大小与 $40\text{—}60 \text{ cm}$ 、 $60\text{—}80 \text{ cm}$ 有机碳储量相关性显著

($R^2 = 0.0327-0.0432, P < 0.05$)。地上生物量密度、根系生物量密度与土壤有机碳没有相关性($P > 0.05$)。

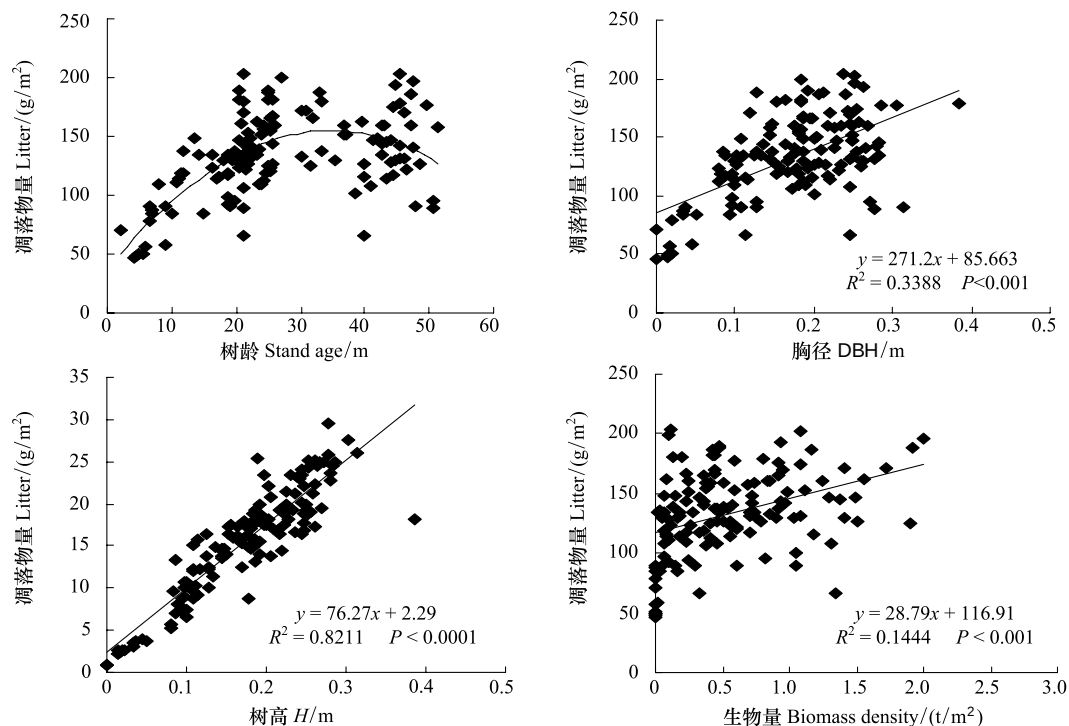


图4 兴安落叶松林龄、树木大小和生物量密度对地表枯落物总量的影响

Fig. 4 Effects stand age, tree size and biomass density of *Larix gmelinii* plantation on dead litter biomass

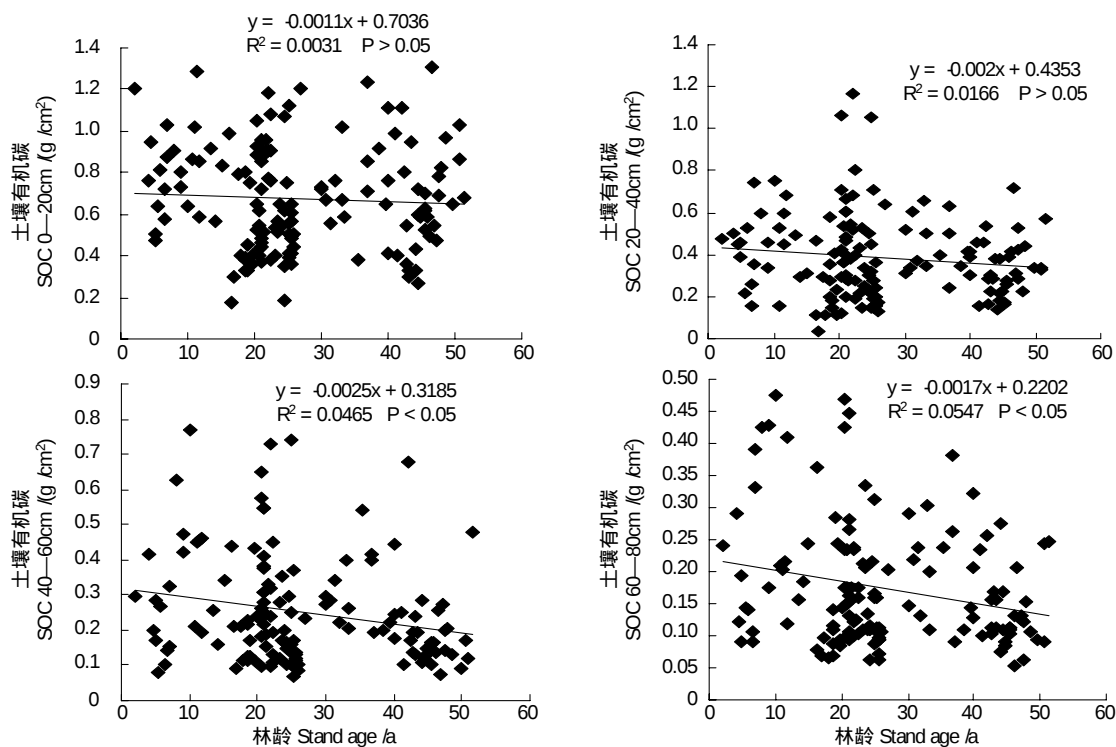


图5 兴安落叶松林龄对不同层土壤有机碳的影响

Fig. 5 Effects of *Larix gmelinii* plantation age on SOC of different soil layers

表 2 林木大小、生物量密度(x)对不同层土壤有机碳(y , g/cm^2)的影响
Table 2 Effects tree size and biomass density(x) on SOC of different soil layers (y , g/cm^2)

类型 Type	X 指标 X index	土壤层/cm Soil layers	回归方程 Regression equation	R^2	P
林木平均大小 Average size of trees	胸径 DBH/m	0—20	$y = -0.0008x + 0.6883$	0.0006	>0.05
		20—40	$y = -0.0005x + 0.3913$	0.0004	>0.05
		40—60	$y = -0.0024x + 0.2927$	0.0152	>0.05
		60—80	$y = -0.0023x + 0.2126$	0.0325	<0.05
	树高 H/m	0—20	$y = 0.0023x + 0.6391$	0.0034	>0.05
		20—40	$y = -0.0007x + 0.3932$	0.0005	>0.05
		40—60	$y = -0.0023x + 0.2856$	0.0093	>0.05
		60—80	$y = -0.0025x + 0.2128$	0.029	<0.05
	根系大小 Root size($\text{kg}/\text{株}$)	0—20	$y = 0.0001x + 0.6679$	0.0005	>0.05
		20—40	$y = -0.0004x + 0.3998$	0.0054	>0.05
		40—60	$y = -0.0007x + 0.2826$	0.0319	<0.05
		60—80	$y = -0.0005x + 0.1972$	0.043	<0.05
	地上部分大小 Aboveground shoot size (kg/tree)	0—20	$y = 3 \times 10^{-5}x + 0.6684$	0.0004	>0.05
		20—40	$y = -8 \times 10^{-5}x + 0.4$	0.006	>0.05
		40—60	$y = -0.0001x + 0.282$	0.0327	<0.05
		60—80	$y = -0.0001x + 0.1965$	0.0432	<0.05
生物量密度 Biomass density $/(\text{t}/\text{hm}^2)$	根系密度 Root density	0—20	$y = -8 \times 10^{-6}x + 0.6857$	0.0007	>0.05
		20—40	$y = 1 \times 10^{-6}x + 0.381$	2×10^{-5}	>0.05
		40—60	$y = -9 \times 10^{-6}x + 0.2633$	0.0026	>0.05
		60—80	$y = -1 \times 10^{-5}x + 0.1936$	0.0159	>0.05
	地上生物量密度 Aboveground biomass density	0—20	$y = -5 \times 10^{-8}x + 0.6836$	0.0005	>0.05
		20—40	$y = 3 \times 10^{-10}x + 0.3824$	3×10^{-8}	>0.05
		40—60	$y = -8 \times 10^{-8}x + 0.2646$	0.0034	>0.05
		60—80	$y = -1 \times 10^{-7}x + 0.1936$	0.017	>0.05

以表层土壤(0—40 cm)与深层土壤(40—80 cm)SOC 的比值为土壤有机碳指标,通过其与落叶松林龄的关系判断落叶松林龄对土壤有机碳的影响发现:落叶松表层土壤(0—40 cm)与深层土壤(40—80 cm)有机碳的比值随林龄呈上升趋势,二者相关性显著($P < 0.01$)。0—40 cm SOC 所占 0—80 cm SOC 的比例以每年 0.12% 的速率显著上升,而深层土壤所占的比例则以相同的速率下降,这使得 0—40 cm 与 40—80 cm 的比值以每年 0.0198 的速度显著上升,相关性显著(斜率=0.02, $P < 0.01$)。说明落叶松林成林过程中,土壤表层碳累积的速率明显增加(图 6)。

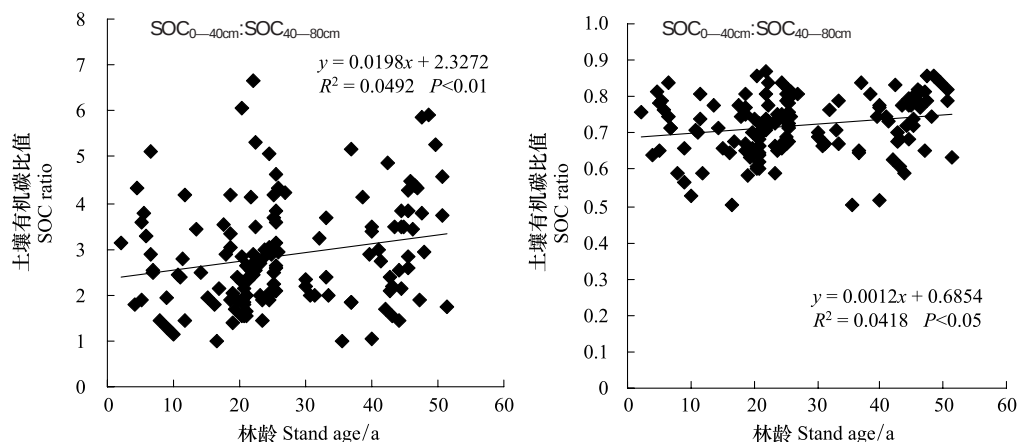


图 6 兴安落叶松林龄对土壤有机碳垂直分布(比值)的影响

Fig. 6 Effects of *Larix gmelinii* plantation age on vertical distribution of SOC storage in different soil layers(ratio)

林木大小、生物量密度对土壤 SOC 垂直分布的影响见表 3,落叶松表层土壤(0—40 cm)与深层土壤(40—80 cm)有机碳的比值随胸径的增大呈上升趋势,二者相关性显著($P<0.05$)。表层土壤(0—40 cm)与 0—80 cm 土壤有机碳比值与胸径显著正相关($R^2=0.0331, P<0.05$)。落叶松树高与表层土壤(0—40 cm)与深层土壤(40—80 cm)有机碳的比值显著正相关($R^2=0.0447, P<0.05$)。表层土壤(0—40 cm)占 0—80 cm 土壤有机碳比例随树高的增大不断增加,二者显著正相关($R^2=0.0419, P<0.05$)。根系大小、地上部分大小与土壤 SOC 垂直分布相关性不显著($P>0.05$)。根系密度、地上生物量密度与土壤 SOC 垂直分布没有相关性($P>0.05$)。

表 3 林木大小、生物量密度(x) 对土壤 SOC 垂直分布(y : 比值)的影响
Table 3 Effects tree size and biomass density (x) on vertical distribution of SOC (y : ratio)

类型 Type	X 指标 X index	土壤层/cm Soil layers	回归方程 Regression equation	R^2	P
林木平均大小 Average size of trees	胸径	0—40/40—80	$y=2.8578x+2.3651$	0.0359	<0.05
	DBH/m	0—40/0—80	$y=0.1875x+0.6865$	0.0331	<0.05
	树高	0—40/40—80	$y=0.0379x+2.2726$	0.0447	<0.05
	H/m	0—40/0—80	$y=0.0025x+0.6801$	0.0419	<0.05
	根系大小/(kg/株)	0—40/40—80	$y=0.0028x+2.7269$	0.0093	>0.05
	Root size	0—40/0—80	$y=0.0002x+0.7115$	0.0063	>0.05
	地上部分大小/(kg/株)	0—40/40—80	$y=0.0006x+2.7328$	0.009	>0.05
	Aboveground shoot size	0—40/0—80	$y=3\times10^{-5}x+0.7119$	0.006	>0.05
生物量密度 Biomass density	根系密度	0—40/40—80	$y=9\times10^{-5}x+2.7289$	0.0046	>0.05
/(t/hm ²)	Root density	0—40/0—80	$y=4\times10^{-6}x+0.7123$	0.0025	>0.05
	地上生物量密度	0—40/40—80	$y=8\times10^{-7}x+2.7304$	0.0048	>0.05
	Aboveground biomass density	0—40/0—80	$y=4\times10^{-8}x+0.7124$	0.0027	>0.05

3 讨论

森林生态系统碳的收入可能包括 2 个方面,第一是生物量,包括地上树干、树枝、叶片和根系为主的活生物量,往往可以通过胸径、树高的异速生长方程来体现所表示部分,以及主要表现在地表凋落物累积的死亡生物量,第二部分是土壤有机碳,其储量甚至高出生物量碳的数倍^[10]。比较落叶松林生长过程中,二者随年龄变化的差异及其对生态系统碳贡献的重要性是本研究的目的。

生物量累积是人工林有机碳累积的主要方式^[22-23],本研究也证明这一点,落叶松林分生物量随林龄的增长而逐渐增加,随着林龄的不断增加,落叶松的枝、叶、干材和根的生物量不断增加,碳汇作用显著。干材生物量平均每年增加 4.53 t/hm²,在各组分中增长速率最快,这可能是因为兴安落叶松为喜阳树种,在其生长过程中将大部分养分分配给树干,以促进高生长,从而获得更多的光照^[24],本研究与前人研究结果相符^[25]。刘志刚^[26]在总结了大量的研究结果后指出,地上部分生物量在一定林龄内随林龄而增加,而后则有逐渐减小的倾向。对于落叶松林生物量的研究进行较多,多是比较其生物量碳储量或者生产力高低^[26],本研究对此具有一定补充作用。林木个体大小(包括胸径、树干、平均木大小)均随年龄呈现显著线性增长趋势($R^2>0.73, P<0.05$),而且林木生物量密度,作为能够直接反映单位土壤面积上生物量碳多少的一个指标,也与林龄呈现显著正相关关系,地上和地下比较发现,更多的生物量碳积累发生在树干(4.53 t hm⁻² a⁻¹),而根系的累积速率只有树干的 29.8% (1.35 t hm⁻² a⁻¹)。通过年龄与生物量相关指标的紧密关系可以看出,利用林龄可以明确地指示地上生物量的累积作用,是否可以利用简单易测定的生物量相关指标来表征土壤有机碳的变化,是本文讨论的一个重点。

地表枯枝落叶是土壤有机碳的重要来源,地表凋落物量随林龄呈先上升后下降的趋势(图 4),是由于落叶松在生长旺盛期树高增加较快,这期间凋落物增长迅速,在第 37 年至第 52 年,落叶松的高生长较缓慢,生物量的增长主要为胸径的增加,而凋落物增长幅度比速生期有所降低。并且在落叶松幼龄阶段,土壤中微生物

物及各种营养等,如 C/N 比导致凋落物分解慢^[27],而随着落叶松林下环境逐渐稳定,凋落物分解的微生物区系也趋于稳定,导致凋落物的输入量和凋落物的分解量趋于平衡。因此,基于林龄变化,可以较为准确地评价地表生物量的累积量,但这种相关关系低于活生物量(胸径、树高和单位面积生物量)对地表凋落物的影响(图 4)。

对于土壤碳如何随林分生长变化而变化,目前的结论并不一致。段文霞等^[28]研究认为柳杉林下土壤剖面各层有机碳含量随林龄而增加。Hamburg^[29]、Juga 等^[30]研究认为,造林后土壤碳储量在初期会下降,然后才开始积累。王春梅等^[13]研究也认为土壤碳密度随退耕还林年限是先降低后增加,在退耕 12 a 的时候降低到最小,21 a 后土壤碳密度出现净积累。Paul 等^[31]利用来自全球 43 个研究的 204 个地点关于造林后土壤碳变化的数据,采用年龄权重平均得出,在造林后初始 5 a,土壤碳下降约 3.64%,之后会逐年增加,约 30 a 后,土壤表面 30 cm 的碳量通常高于最初的农业土壤。Wang 等^[14]对东北地区退耕还林过程中落叶松人工林生长导致土壤碳累积变化的研究表明,土壤有机碳在 0—20 cm 的平均累积速率可以高达 $96 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,但是深层土壤不同样地间存在差异,有些样地存在明显降低现象。也有研究认为造林过程能够导致土壤有机碳的减少,如 Klopatek^[32]对 *Pseudotsuga menziesii* 的研究发现 SOC 损失速率可以达到 $-14.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。陈立新等^[20]对大兴安岭落叶松林的研究也发现随年龄增加而 SOC 降低的趋势。本研究发现,在落叶松生长过程中,当受林分生长影响最小的深层土壤有机质碳与林龄存在显著降低趋势时(40—60 cm 和 60—80 cm),受林分生长影响最大的表层土壤没有显著变化($P>0.05$)(尽管有增加的趋势),可能说明表层土壤碳随林分生长增加量有限,原因可能是快速生长的林分需要大量的基于土壤有机质分解的土壤养分^[20,32]。落叶松根系多在 40 cm 以内^[21],因此落叶松生长对土壤影响程度,表层土壤的影响应该大于深层,如 60—80 cm 土壤。如果当受林分生长影响最小的深层土壤有机质碳变化认为是原始基质土壤本身存在的变化的话,表层土壤与深层土壤的差可以看作是由于林分生长所致。以表层土壤与深层土壤 SOC 比值作为土壤有机碳指标研究发现,0—40 cm/40—80 cm SOC 比值随林龄显著增大($P<0.01$)(图 6),这一比值的变化速率可以高达每年 1.98%,而如果以 0—40 cm/0—80 cm 比值进行计算的话,那么相对于底层土壤,表层土壤每年增加的比例高达 0.12%。

除了可以用年龄来表征林分生长外,林木大小和林分生物量密度的变化也可以用来表征落叶松林的生长(图 2、图 3)。这些指标往往与林木年龄一样(甚至更容易),较土壤碳储量变化更容易测定,这些指标是否适宜评价土壤有机碳及适合评价总量还是分布特征也进行了探讨(表 2 和表 3)。与生物量密度相比(地下根系密度和地上生物量密度),树木大小(如胸径、树高)对土壤不同层碳总量及其垂直分布(0—40 cm/40—80 cm;0—40 cm/0—80 cm SOC 比值)的相关关系的显著性和相关系数 R^2 均高出很多,这一结果可能说明,单位面积上现存的生物总量并不是表征地下土壤碳累积的有效指标,其可靠性甚至远低于胸径、树高以及林龄(表 2、表 3)。此外,与林龄相似,0—40 cm/40—80 cm、0—40 cm/0—80 cm SOC 比值与胸径、树干显著正相关(表 3),多个生长指标同样证明,落叶松的生长使得表层土壤与深层土壤的差距显著增加。以往很多研究发现土壤表层碳对外界环境响应敏感^[12-13,17],落叶松的生长对其垂直分布的影响可能较总量影响更大,在人工林经营以及土壤碳汇功能计算上均需要注意这一点。

4 结论

我国东北地区落叶松人工林成林过程中,随着林龄的增大,个体大小和生物量密度不断增加。当林龄小于 37 a 时,地表凋落物随林龄增加呈明显上升趋势,而 38—52 a 地表凋落物量呈下降趋势。凋落物质量随林木大小、生物量密度的增大而增加,相关性显著($R^2=0.14-0.82, P<0.001$)。深层土壤有机质碳(40—60 cm 和 60—80 cm)与林龄存在显著降低趋势,表层土壤没有显著变化($P>0.05$)。胸径、树高与深层土壤有机碳(60—80 cm)相关性显著。地上部分大小、根系大小与 40—80 cm 有机碳显著负相关。0—40 cm 与 40—80 cm 土壤有机碳储量比值随林龄显著增加($P<0.01$),林木平均大小与深层土壤有机碳显著负相关($P<0.05$);而 0—40 cm 与 40—80 cm 土壤有机碳储量比值随林木大小(胸径与树高)的增大呈上升趋势($P<0.05$),考虑到深层土壤较表层具有更长期的稳定性,这种比值的增加,意味着土壤碳有向表层积聚而向深层减少的趋势,

研究结果说明落叶松土壤碳累积过程值得关注。

References:

- [1] Wang W J, Wang H M, Zu Y G. CO₂ Flux of a Larch Plantation in Northeast China. Beijing: Science Press, 2006.
- [2] Osawa A, Zyryanova O A, Matsuura Y, Kajimoto T, Wein R W. Permafrost Ecosystems; Siberian Larch Forests. New York; Springer, 2010.
- [3] Gower S T, Richards J H. Larches: deciduous conifers in an evergreen world- in their harsh environments these unique conifers support a net carbon gain similar to ever-green. Bioscience, 1990, 40(11): 818-826.
- [4] Koike T, Yazaki K, Funada R, Maruyama Y, Mori S, Sasa K. Forest health and vitality in northern Japan: a history of larch plantation. Research notes of Faculty of Forestry, University of Joensuu, 2000, 92: 49-60.
- [5] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. Journal of Plant Ecology, 2000, 24(5): 518-522.
- [6] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733-740.
- [7] Wang X K, Feng Z G, Ouyang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 13-16.
- [8] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5): 497-508.
- [9] Luo Y J, Zhang X Q, Hou Z H, Yu P T, Zhu J H. Biomass carbon accounting factors of *Larix* forests in China based on literature data. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1111-1118.
- [10] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soil. Nature, 1990, 348(6298): 232-234.
- [11] Wirth C, Gleixner G, Heimann M. Old-Growth Forests; Function, Fate and Value. Berlin; Springer-Verlag, 2010.
- [12] Zhou G Y, Liu S G, Li Z, Zhang D Q, Tang X L, Zhou C Y, Yan J H, Mo J M. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. Science, 2006, 314(5804): 1417-1417.
- [13] Wang C M, Liu Y H, Shao B, Zhao J G. Quantifying the soil carbon changes following the afforestation of former arable land. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(3): 112-119.
- [14] Wang W J, Qiu L, Zu Y G, Su D X, An J, Wang H Y, Zheng G Y, Sun W, Chen X Q. Changes in soil organic carbon, nitrogen, pH and bulk density with the development of larch (*Larix gmelinii*) plantations in China. Global Change Biology, 2011, 17(8): 2657-2676.
- [15] Sun Y J, Zhang J, Han A H, Wang X J, Wang X J. Biomass and carbon pool of *Larix gmelinii* young and middle age forest in Xing'an mountains inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1756-1762.
- [16] Wang S Q, Zhou C H, Liu J Y, Li K R, Yang X M. Simulation analyses of terrestrial carbon cycle balance model in Northeast China. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 390-400.
- [17] Covington W. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. Ecology, 1981, 62: 41-48.
- [18] Walker L R, Wardle D A, Bardgett R D, Clarkson B D. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. Journal of Ecology, 2010, 98(4): 725-736.
- [19] Bao S D. Agricultural Chemical Soil Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] Chen L X, Xiao Y. Evolution and evaluation of soil fertility in forest land in *Larix gmelinii* plantations at different development stages in Daxinganling forest region. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(5): 50-55.
- [21] Wang W J, Zu Y G, Wang H M, Matsuura Y, Sasa K, Koike T. Plant Biomass and productivity of *Larix gmelinii* forest ecosystems in Northeast China: intra- and inter- species comparison. Eurasian Journal of Forest Research, 2005, 8(1): 21-41.
- [22] Chen C G, Peng H. Growth and differentiation of Amandi pine trees. Journal of Northwest Forestry College, 1994, 9(2): 1-8.
- [23] Richter D D, Markewitz D, Trumbore S E, Wells C G. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. Nature, 1999, 400(6739): 56-58.
- [24] Givnish T J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox. Silva Fennica, 2002, 36(3): 703-743.
- [25] Mei L, Zhang Z W, Gu J C, Quan X K, Yang L J, Huang D. Carbon and nitrogen storages and allocation in tree layers of *Fraxinus mandshurica* and *Larix gmelinii* plantations. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(8): 1791-1796.
- [26] Liu Z G, Ma Q Y, Pan X L. A study on the biomass and productivity of the natural *Larix gmelinii* forests. Acta Phytocologica Sinica, 1994, 18(4): 328-337.
- [27] Schlesinger W H, Hasey M M. Decomposition of chaparral shrub foliage: losses of organic and inorganic constituents from deciduous and evergreen leaves. Ecology, 1981, 62(3): 762-774.
- [28] Duan W X, Zhu B, Liu R, Chen S, Zhou Y P, Chen F. Biomass and soil carbon dynamics in *Cryptomeria formnei* plantations. Journal of Beijing

Forestry University, 2007, 29(2): 55-59.

- [29] Hamburg S P. Effects of forest growth on soil nitrogen and organic matter pools following release from subsistence agriculture // Forest Soils and Treatment Impacts. Knoxville: University of Tennessee Press, 1984.
- [30] Jug A, Makeschin F, Rehfuss K E, Hofmann-Schielle C. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III: Soil ecological effects. Forest Ecology and Management, 1999, 121(1/2): 85-99.
- [31] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, Khanna P K. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 2002, 168(1/3): 241-257.
- [32] Klopatek J M. Belowground carbon pools and processes in different age stands of Douglas-fir. Tree Physiology, 2002, 22(2/3): 197-204.

参考文献:

- [1] 王文杰,王慧梅,祖元刚. 中国东北落叶松人工林 CO₂ 通量. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 周玉容,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518-522.
- [6] 刘国华,傅伯杰,方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [7] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.
- [8] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.
- [9] 罗云建,张小全,侯振宏,于澎涛,朱建华. 我国落叶松林生物量碳计量参数的初步研究. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1111-1118.
- [13] 王春梅,刘艳红,绍彬,赵景刚. 量化退耕还林后土壤碳变化. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 112-119.
- [15] 孙玉军,张俊,韩爱惠,王学军,王新杰. 兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 幼龄林的生物量与碳汇功能. 生态学报, 2007, 27(5): 1756-1762.
- [16] 王绍强,周成虎,刘纪远,李克让,杨晓梅. 东北地区陆地碳循环平衡模拟分析. 地理学报, 2001, 56(4): 390-400.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 陈立新,肖扬. 大兴安岭林区落叶松林地不同发育阶段土壤肥力演变与评价. 中国水土保持科学, 2006, 4(5): 50-55.
- [22] 陈存根,彭鸿. 华山松林木的生长与分化. 西北林学院学报, 1994, 9(2): 1-8.
- [25] 梅莉,张卓文,谷加存,全先奎,杨丽君,黄冬. 水曲柳和落叶松人工林乔木层碳、氮储量及分配. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1791-1796.
- [26] 刘志刚,马钦彦,潘向丽. 兴安落叶松天然林生物量及生产力的研究. 植物生态学报, 1994, 18(4): 328-337.
- [28] 段文霞,朱波,刘锐,陈实,周玉平,陈放. 人工柳杉林生物量及其土壤碳动态分析. 北京林业大学学报, 2007, 29(2): 55-59.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元