

# 大兴安岭林区兴安落叶松人工林土壤有机碳贮量\*

齐光<sup>1,2</sup> 王庆礼<sup>1</sup> 王新闯<sup>1</sup> 于大炮<sup>1</sup> 周莉<sup>1</sup> 周旺明<sup>1</sup> 彭舜磊<sup>2</sup> 代力民<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所森林与土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110164; <sup>2</sup>平顶山学院, 河南平顶山 467000)

**摘要** 通过样地调查,研究了大兴安岭林区 10、15、26 和 61 年生兴安落叶松人工林 0~40 cm 土壤有机碳(SOC)贮量,以及原始兴安落叶松林皆伐后营造人工林过程中 SOC 碳源/汇的变化.结果表明:随林龄的增加,兴安落叶松人工林 SOC 贮量呈现先减少后增加的趋势,转折点在林龄 15~26 a.与原始落叶松林相比,兴安落叶松人工林土壤碳库初期(10~26 a)表现为碳源,之后逐渐转变为碳汇,林龄 61 a 时 SOC 贮量达 158.91 t·hm<sup>-2</sup>.兴安落叶松人工林土壤碳库的垂直分布表现为初期下层 SOC 贮量高于上层,26 a 后上层高于下层,说明人为干扰对该地区森林土壤碳库垂直分布产生了强烈的影响.大兴安岭林区兴安落叶松人工林的主伐年龄以>60 a 为宜.

**关键词** 大兴安岭 兴安落叶松 土壤有机碳 碳密度 碳汇 人工林经营

**文章编号** 1001-9332(2013)01-0010-07 **中图分类号** Q948 **文献标识码** A

**Soil organic carbon storage in different aged *Larix gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains of Northeast China.** QI Guang<sup>1,2</sup>, WANG Qing-li<sup>1</sup>, WANG Xin-chuang<sup>1</sup>, YU Da-pao<sup>1</sup>, ZHOU Li<sup>1</sup>, ZHOU Wang-ming<sup>1</sup>, PENG Shun-lei<sup>2</sup>, DAI Li-min<sup>1</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; <sup>2</sup>Pingdingshan University, Pingdingshan 467000, Henan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(1): 10-16.

**Abstract:** A sampling plot investigation was conducted to study the soil organic carbon (SOC) storage in 0-40 cm layer in 10-, 15-, 26- and 61 years old *Larix gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains of Northeast China as well as the temporal variation pattern of the SOC source/sink during the plantation management after the clear cutting of primary *L. gmelinii* forest. With the increasing age of the plantations, the SOC storage increased after an initial decrease, and the inflection point was at a stand age between 15- and 26-years old. Compared with that of primary forest, the SOC storage of the plantations played a role of carbon source at early stage (10-26 years old), but gradually transformed into carbon sink then, with a SOC storage of 158.91 t·hm<sup>-2</sup> in 61-year-old plantation. The SOC storage of the plantations increased with soil depth initially, but was higher in upper soil layer than in deeper soil layer after the stand age being 26, which implied that human disturbance had strong effects on the vertical distribution of SOC. It was considered that the appropriate cutting age for the *L. gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains could be at least 60 years old.

**Key words:** Great Xing'an Mountains; *Larix gmelinii*; soil organic carbon; carbon density; carbon sink; plantation management.

工业革命以来,人类活动致使大气 CO<sub>2</sub> 浓度不断上升,由此引发的温室效应将使 21 世纪末的地球

表面气温显著增加<sup>[1-2]</sup>. 通过碳汇作用将大气 CO<sub>2</sub> 固持在陆地碳库中,已成为目前减缓温室效应的有效途径之一.森林是地球上最大的陆地碳库,约占陆地总碳库的 46%,对全球碳循环和碳平衡至关重要.森林土壤碳库是森林生态系统碳库的主体,包括无机碳库和有机碳库两部分,而且无机碳贮量相对较小且变动不大.森林土壤有机碳(SOC)主要分布

\* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060200)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-Q1-0501)、河南省教育厅科学技术研究重点项目(12B180024)和平顶山学院博士启动项目(2011009/G)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: lmdai@iae.ac.cn

2012-04-22 收稿,2012-11-01 接受.

于土壤层 1 m 深度以内,总贮量为 1220 Pg C,约占陆地土壤碳库的 40%,是现阶段土壤碳库研究的重点<sup>[3]</sup>.有研究表明,成熟林中的土壤碳库是碳汇增加的主要场所<sup>[4]</sup>.清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)使森林碳汇兼具重要的政治和经济效益,目前 CDM 碳汇项目仅限于造林和再造林(afforestation & reforestation, AR),因此人工林碳库研究变得尤为紧迫<sup>[1]</sup>.森林生态系统碳库主要包括植被、凋落物和 SOC 碳库,造林和再造林后植被碳库和凋落物碳库变化明显且易于测定,因此相关研究较多,而 SOC 碳库的研究相对较少<sup>[5]</sup>.东北地区原始林皆伐后营造人工林,初期土壤碳库降低<sup>[6]</sup>;而在草原上营造人工林后,土壤碳库表现出初期降低、后期增加的趋势<sup>[7]</sup>.目前,落叶松人工林经营过程中普遍存在土壤酸化和地力衰退的问题,更易导致土壤 SOC 碳库降低.但是落叶松中龄林存在自肥效应,每年有大量凋落物对土壤碳库进行补充,有助于营林后期 SOC 碳库的增加<sup>[8]</sup>.研究表明,随林龄增加,兴安落叶松生物量碳库增加<sup>[9]</sup>,但是土壤碳库在时间序列上的变化鲜有报道.以往对落叶松林 SOC 碳库的研究对象多为落叶松天然林,落叶松人工林的研究也多以中、幼龄林为主<sup>[10-13]</sup>.有必要揭示落叶松人工林 SOC 碳库在较长时间尺度上的变化特征.

大兴安岭林区地处北半球高纬度区域,是对全球气温变化最明显的地区之一<sup>[14]</sup>.该区广泛分布的兴安落叶松(*Larix gmelinii*)人工林是对全球温度变化最敏感的植被类型之一.然而,该植被类型碳库尤其是 SOC 碳库的系统研究和实测数据仍较匮乏<sup>[15]</sup>.本文以该区不同林龄兴安落叶松人工林为研究对象,以原始落叶松林为对照,利用“空间代替时间”的方法研究林龄与 SOC 碳库的关系.本研究假设:原始林皆伐后营造的兴安落叶松人工林初期 SOC 碳贮量小于皆伐前的原始林,并随林龄增加而减少,表现为碳源;一定时期以后,SOC 碳贮量开始随林龄增加而增加,表现为碳汇.旨在揭示兴安落叶松人工林 SOC 碳库时间变化规律,并为制定科学的人工林经营管理策略提供参考.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究区位于大兴安岭呼中林业局(51° 14' 40"—52° 25' 00" N, 122° 39' 30"—124° 21' 00" E),总面积 7.7×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>.该地区属大

陆性季风气候,夏季短暂,冬季漫长,冰冻期长达半年,绝对最低温度达-47.5℃.年均温 4.7℃,年均降水量 350~500 mm,年均无霜期 85 d.由于寒冷湿润,该区原始兴安落叶松林苔藓和枯枝落叶层一般发育较厚,滞水性强,使土壤在生长季持续处于湿润状态,灰化现象不明显,土层厚度一般在 0.4 m 以内.河谷地区常分布有草甸土和沼泽土,土层母质多残积物,基岩以花岗岩为主.该区为大片连续多年冻土带南缘,地貌类型为石质中低山山地,坡度平缓,多在 15°以下,平均海拔 812 m.地带性植被类型为寒温性针叶林,以兴安落叶松为单优势种.主要针叶乔木树种为:兴安落叶松、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和云杉(*Picea koraiensis*)等,主要阔叶乔木树种为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)和钻天柳(*Chosenia arbutifolia*)等.高海拔地带分布有偃松(*Pinus pumila*),构成亚高山特有景观和山地寒温带针叶疏林的林下灌木<sup>[16]</sup>.

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与取样 于 2009 年 8 月进行样地调查,所选人工林样地均为草类-兴安落叶松人工林,并且均由原始落叶松林皆伐后营造且经营措施相同,下坡位,坡度<5°,林龄分别为 10、15、26 和 61 a.选取坡度、坡位相似的原始落叶松人工林作为参照(CK),以空间代替时间的方法研究土壤碳库的时间变化特征.所选样地土壤的中国发生分类名称、系统分类名称和 FAO 的分类名称类型分别为棕色针叶林土、暗瘠寒冻维形土和 Humic Cambisol.在各研究样地中分别设置 3 个 20 m×20 m 样方,测定每木的胸径(DBH)和树高,结果见表 1.

参照 CERN 的土壤碳库调查方法进行分层取样,去除地表枯落物层后用土钻分别取得 0~10、10~20 和 20~40 cm 深度土壤样品.每个样方设置 3 个剖面,在各层中部取土,取土后将样品带回实验

表 1 兴安落叶松林调查样地基本概况  
Table 1 Basic status of sites of *Larix gmelinii*

林型 Forest type	林龄 Stand age (a)	胸径 DBH (cm)	树高 Height (m)	密度 Density (ind· hm <sup>-2</sup> )
CK	>120	14.95	10.24	1700
L <sub>10</sub>	10	4.83	3.32	2200
L <sub>15</sub>	15	7.85	6.70	1300
L <sub>26</sub>	26	13.79	10.51	1700
L <sub>61</sub>	61	34.84	21.69	300

CK:原始落叶松林 *Larix gmelinii* virgin forest; L:落叶松人工林 *Larix gmelinii* plantation. 下同 The same below.

表 2 兴安落叶松原始林和人工林各层土壤 SOC 含量

Table 2 SOC content in different soil layers of *Larix gmelinii* virgin forest and plantations (mean±SD, g · g<sup>-1</sup>)

林型 Forest type	土壤深度 Soil depth (cm)			
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	0 ~ 40
CK	0. 1048±0. 0127a	0. 0619±0. 0059a	0. 0131±0. 0063a	0. 0599±0. 0081a
L <sub>10</sub>	0. 0281±0. 0081b	0. 0292±0. 0056bc	0. 0207±0. 0007a	0. 0260±0. 0044b
L <sub>15</sub>	0. 0409±0. 0148b	0. 0250±0. 0022b	0. 0157±0. 0010a	0. 0272±0. 0045b
L <sub>26</sub>	0. 0543±0. 0200b	0. 0418±0. 0119c	0. 0185±0. 0089a	0. 0382±0. 0086b
L <sub>61</sub>	0. 0420±0. 0009b	0. 0371±0. 0026bc	0. 0166±0. 0016a	0. 0323±0. 0011b

同列不同小写字母表示林龄间差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicated significant difference among different stand ages at 0.05 level.

室,风干后过 2 mm 筛,进行土壤有机碳含量测定,并取部分样品用于土壤容重测定<sup>[17]</sup>。

**1.2.2 土壤容重测定** 将样品均匀粉碎后,挑出细根、砾石等杂物,风干后得到样品干质量.然后取样品 50 g 置于干燥箱中,105 ℃ 烘干得到烘干质量,计算土壤含水率,从而得到原有土样的烘干质量,根据环刀体积计算土壤容重.

**1.2.3 土壤碳含量测定** 将剩余风干样品粉碎,过 100 目筛、取样分析.采用重铬酸钾氧化-外加热法<sup>[18-19]</sup>.测定土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)含量,得到 0~40 cm 土层土壤有机碳密度(soil organic carbon density, SOCD, t · hm<sup>-2</sup>).

$$SOCD = \sum_{i=1}^3 SOCD_i = \sum_{i=1}^3 C_i \times D_i \times E_i \times 10^8$$

(1)

式中:SOCD<sub>*i*</sub>为第 *i* 土层的土壤碳密度(t · hm<sup>-2</sup>);  
C<sub>*i*</sub>为 SOC 含量(t · g<sup>-1</sup>);D<sub>*i*</sub>为土壤容重(g · cm<sup>-3</sup>);  
E<sub>*i*</sub>为第 *i* 层土的厚度(cm).

1.3 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件进行数据分析.采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)进行差异显著性分析( $\alpha=0.05$ ).当数据组间表现出显著差异时,采用 Duncan 法进行多重比较.

2 结果与分析

2.1 兴安落叶松原始林和人工林 SOC 碳库

由表 2 可以看出,兴安落叶松原始林和人工林土壤 SOC 含量均随深度增加而减少,原始林 SOC 含量大于人工林,林龄 26 和 61 a 人工林大于 10 和 15 a 人工林.原始林 0~10 cm 土层的 SOC 含量远远大于人工林,4 种落叶松人工林 0~10 cm 土层的 SOC 含量随林龄增加呈增加趋势,但差异不显著.原始林 10~20 cm 土层的 SOC 含量大于人工林,其中,林龄 15 和 26 a 的 SOC 含量明显升高,且 26 和 61 a 大于

10 和 15 a.原始林和人工林 20~40 cm 土层的 SOC 含量无显著差异.

由于研究区土壤发生层较浅,40 cm 以下多为母质层,因此本研究的落叶松人工林 SOC 碳库即指土层 0.4 m 以内的 SOC 碳库.由图 1 可以看出,10、15、26 和 61 a 兴安落叶松人工林 SOC 碳密度分别为 126.54、110.32、131.70 和 158.91 t · hm<sup>-2</sup>,呈现出随林龄增加而先降低后增加的趋势.这种趋势变化的转折点在林龄 15~26 a 之间.该地区原始兴安落叶松林 SOC 碳密度为 143.83 t · hm<sup>-2</sup>,略低于 61 a 落叶松人工林,而高于其他林龄落叶松人工林.原始兴安落叶松林的土壤容重远小于落叶松人工林.落叶松人工林土壤容重在 10~26 a 间呈现随林龄增大而下降的趋势,61 a 时又呈上升趋势.

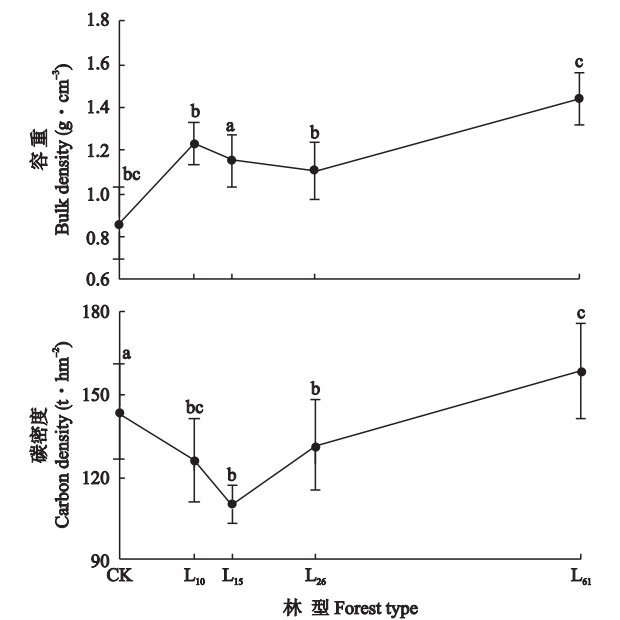


图 1 兴安落叶松原始林及人工林 SOC 碳库

Fig. 1 SOC of *Larix gmelinii* virgin forest and plantations (mean±SD).

不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters indicated significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

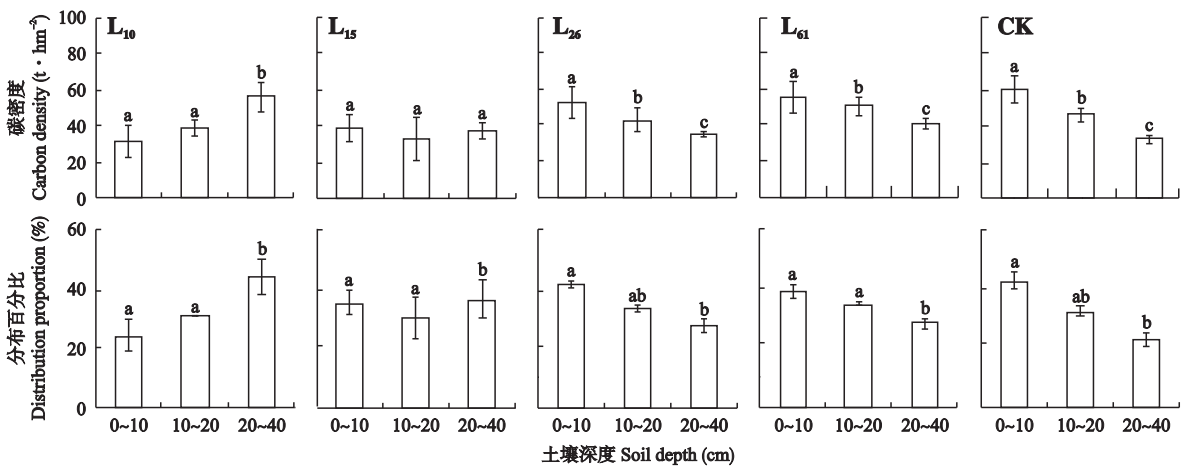


图2 兴安落叶松原始林及人工林 0~40 cm 土壤有机碳密度及百分比  
Fig. 2 SOC density and distribution proportion in the 0~40 cm soil layers of *Larix gmelinii* virgin forest and plantations (mean±SD).

2.2 兴安落叶松原始林和人工林 SOC 垂直分布特征

由图 2 可以看出,10、15、26 和 61 a 落叶松人工林表层 0~10 cm 的 SOC 分别为 31.16、38.18、53.32 和 60.58 t · hm<sup>-2</sup>;中间层 10~20 cm 的 SOC 分别为 39.09、33.04、43.17 和 54.46 t · hm<sup>-2</sup>;而土壤最底层 20~40 cm 的 SOC 分别为 56.30、37.27、35.21 和 43.87 t · hm<sup>-2</sup>. 总体上,该地区落叶松人工林 SOC 表现为初期顶层碳密度低于下层,而末期高于下层的特征. 原始落叶松林 0~10、10~20 和 20~40 cm 土层的 SOC 分别为 62.48、47.68 和 33.68 t · hm<sup>-2</sup>,与 61 a 落叶松人工林相近.

落叶松人工林初期土壤碳库中表层 SOC 所占比重极小,且随林龄增加而增加;而底层 SOC 所占土壤碳库比重表现出逐渐减小的趋势. 10、15、26 和 61 a 落叶松人工林 0~10 cm 土层的 SOC 垂直分布百分比分别为 24.4%、34.5%、40.4% 和 38.1%,总体随林龄增加而增加,26 a 后趋于稳定;20~40 cm 土层的 SOC 垂直分布百分比分别为 44.7%、36.1%、26.9% 和 27.6%,随林龄增加而降低,26 a 后趋于稳定. 原始落叶松林 0~10 cm 土层的 SOC 垂直分布百分比为 43.4%,20~40 cm 土层的 SOC 垂直分布百分比为 23.4%,与 26 和 61 a 落叶松人工林较为接近.

2.3 兴安落叶松人工林 SOC 年均碳累积

由图 3 可以看出,兴安落叶松人工林 SOC 年均碳累积随林龄增加呈现先减少后增加的趋势,其中,林龄 10~15 a 阶段 SOC 年均碳累积降低,15 a 之后 SOC 年均碳累积逐渐增加. 若以原始兴安落叶松林 SOC 为基线,10~26 a 兴安落叶松人工林土壤碳库

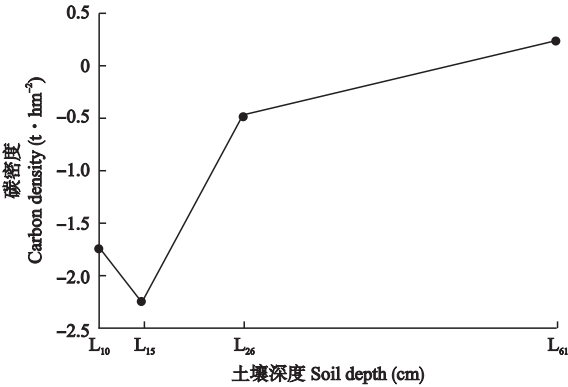


图3 兴安落叶松人工林 SOC 年均碳累积  
Fig. 3 Annual SOC accumulation of *Larix gmelinii* plantations (mean±SD).

表现为碳源,61 a 时表现为碳汇(年均碳累积量为 0.25 t · hm<sup>-2</sup>).

3 讨 论

3.1 兴安落叶松原始林和人工林 SOC 碳库特征

目前,关于东北地区落叶松人工林 SOC 的研究,多集中于探讨不同地区落叶松人工林土壤 SOC 的含量<sup>[11,20-21]</sup>,深度多在 60 cm 土层以内<sup>[20-22]</sup>,缺乏对 SOC 碳贮量的研究,有关 SOC 碳库时间变化特征报道更少,主要原因之一是长期定位观测数据的普遍匮乏. 在缺乏长期观测数据的前提下,“空间代替时间”的方法是揭示人工林成长过程中 SOC 的碳源/汇转变的最佳选择.

东北地区落叶松人工林 SOC 含量随林龄的变化存在较大争议,陈立新等<sup>[20]</sup>分别对长白山和小兴安岭地区幼、中龄落叶松人工林 SOC 含量进行对比研究,所得结果存在差异:长白山 0~40 cm 土层中



龄林 SOC 含量低于幼龄林;而小兴安岭地区 0 ~ 60 cm 土层中龄林 SOC 含量大于幼龄林. 王洪君等<sup>[23]</sup>研究表明,中龄落叶松人工林 SOC 含量随林龄增加而增加,但是林龄 40 a 时仍大大低于原始落叶松林. 陈立新等<sup>[20]</sup>发现,小兴安岭落叶松人工林 SOC 含量随林龄增加呈现先增加后降低的趋势,近熟时达到峰值,且各龄级落叶松人工林 SOC 含量都大于天然次生林,一定程度上肯定了落叶松人工林在固持土壤 SOC 方面的重要作用. 本研究中,兴安落叶松中龄人工林 SOC 含量大于幼龄林,总体随林龄增加而增加,并且都未达到原始林水平,所得结果与陈立新等<sup>[20]</sup>和王洪君等<sup>[23]</sup>的研究结论一致.

SOC 含量尚不能真实反映落叶松林的 SOC 碳库水平,国际上常采用碳密度为指标对森林碳库贮量进行比较<sup>[24-25]</sup>. 由式(1)可知,土壤碳密度受到土壤容重和土层厚度的强烈影响,因此,本研究调查样地 SOC 碳密度与 SOC 含量大小的分布特征并不完全一致. 尽管原始落叶松林 SOC 含量远大于人工林,但是由于原始林土壤容重较小,导致 SOC 碳密度小于 61 a 落叶松林(表 2, 图 1). 对于人工林而言,10 ~ 26 a 阶段土壤容重略有降低,61 a 时又显著增加(图 1),推测 61 a 落叶松人工林土壤产生了较为严重的酸化板结现象,导致土壤容重偏大<sup>[8]</sup>. 以往研究认为,造林能够改变陆地 SOC 碳库贮量,但其作用结果具有不确定性,受林龄、树种、原有土地利用类型等多种因素的制约<sup>[26]</sup>. 本研究中随林龄增加,10 ~ 15 a 兴安落叶松人工林 SOC 碳密度降低,15 ~ 61 a 阶段升高,61 a 时大于原始林,表现出初期为碳源、后期为碳汇的土壤碳库源/汇变化特征(图 1),这与本文前述林龄与碳源/汇关系的假设相符. 落叶松凋落物分解过程中大量酸性物质的释放导致土壤呈酸性反应,易于板结并导致初期地力衰退,在土壤碳库方面表现为初期 SOC 贮量随林龄增加而降低<sup>[8]</sup>,这与本研究 10 ~ 15 a 兴安落叶松人工林 SOC 碳密度变化结果相符. 本研究区兴安落叶松原始林与 10 ~ 15 a 人工林 SOC 碳密度存在较大差异,可能是由于兴安落叶松营造早期地力衰退现象比较严重,引起林龄 10 ~ 15 a 阶段 SOC 贮量的急剧降低. 已往报道中,21 和 31 a 兴安落叶松林的年凋落物量分别为 3.58 和 7.48 t · hm<sup>-2</sup><sup>[8,27]</sup>. 由此可推断,中龄兴安落叶松林年凋落物量随林龄增加而增加. 增加的凋落物作为土壤有机质的输入源,有助于增加 SOC,进而逐步扭转 SOC 随林龄增加而减少的趋势;当林龄达到一定时期(本文为 15 ~ 26 a),兴

安落叶松 SOC 随林龄增加而增加. 因此,本研究林龄与 SOC 碳源/汇关系转折点为林龄 15 ~ 26 a.

### 3.2 SOC 碳库的垂直分布格局

有研究表明,森林生态系统 SOC 主要集中于表层 0 ~ 30 cm<sup>[17,28]</sup>,人工林经营对森林土壤碳库的扰动不只表现在 SOC 贮量的变化上,还表现为对 SOC 碳库垂直分布格局的影响. 中龄和近熟龄落叶松人工林 SOC 含量随土层深入呈现递减的趋势<sup>[11,21]</sup>,本研究中兴安落叶松原始林和人工林 SOC 含量的垂直变化总体符合这一趋势(表 2). 兴安落叶松原始林及 26、61 a 人工林 SOC 碳密度垂直分布随土层深入而递减,而 10 a 兴安落叶松人工林 SOC 碳密度显著递增,15 a 兴安落叶松人工林 SOC 碳密度在各层间差异不显著(图 2). 兴安落叶松人工林初期顶层 SOC 低于下层,而末期高于下层,总体随林龄增加呈现向顶层集中的趋势,并且逐步接近于兴安落叶松原始林的 SOC 垂直分布模式.

SOC 的垂直百分比分布可以实现不同地区土壤碳库垂直分配的无量纲性对比. 以往研究表明,自然植被表层 SOC 贮量比重比次生植被偏高<sup>[29]</sup>. 这主要是因为次生植被受到人为干扰,地表枯枝落叶积累较少,导致土壤表层有机碳贮量较少. 本研究中,兴安落叶松原始林 0 ~ 10 cm 土层 SOC 比重大于人工林,与以往研究相符(图 2). 尽管林龄 15 a 落叶松人工林 SOC 碳密度各层间差异不显著,但是底层 SOC 垂直分布百分比显著大于顶层,说明 15 a 落叶松人工林 SOC 代表了林龄梯度上垂直分布格局的转折点,是较为敏感的土壤碳库. 其他类型落叶松林 SOC 碳密度垂直分布与垂直百分比分布模式相近,只是各层间的差异由于百分比的无量纲化处理而减弱.

SOC 碳密度和垂直百分比分布的变化,说明兴安落叶松人工林成长过程中经历了土壤碳库垂直分配格局的变化,通过上层 SOC 的不断增加,达到与原始林相似的稳定状态. 这是由于原始林皆伐后使地表裸露,顶层土壤呼吸作用加强,顶层 SOC 急剧降低. 落叶松人工林营造后,短期内土壤受到的扰动无法恢复,导致早期 SOC 降低. 随着林龄和林分郁闭度增加,地表枯落物、水分及光照条件的改善,使土壤呼吸作用减弱,同时,碳素通过凋落物归还到土壤中,使得上层 SOC 不断增加,直至 26 a 时 SOC 垂直分配格局趋于稳定.

### 3.3 兴安落叶松人工林 SOC 固碳潜力与合理经营的关系

兴安落叶松林是对全球气候变化最为敏感的植物

被类型之一. 我国东北地区是兴安落叶松分布的南限, 兴安落叶松林在该地区自然生态系统中具有重要的碳汇作用<sup>[9,15,30]</sup>. 但是长期以来, 由于营林方式上将落叶松人工林作为速生丰产林经营, 以获得林产品为主要目的, 引起了地力普遍衰退现象<sup>[8]</sup>, 使落叶松人工林的土壤碳库普遍小于原始林. 本研究表明, 该地区兴安落叶松人工林 SOC 具有一定的固碳潜力, 可以通过兼顾固碳和合理经营充分发挥其作用. 同时, 合理经营中应该注意以下两点:

1) 森林 SOC 碳库在不同时期会表现为碳源或碳汇, 进而影响整个森林生态系统碳库的碳源/汇转变<sup>[31]</sup>. 随着林龄的增加, 兴安落叶松人工林土壤 SOC 碳库先降低后增加, 经历了由碳源转变为碳汇的过程(图 1). 但 15~26 a 阶段的 SOC 年均碳累积随林龄增加一直在增加, 直至 61 a 时才具备较高年均碳累积量. 由于 61 a 兴安落叶松人工林 SOC 贮量已经略超过原始林水平(图 1), 具备较高的碳汇潜力, 因此适当延长林龄可发挥兴安落叶松人工林 SOC 的固碳潜力. 我国兴安落叶松人工林的主伐年龄是 30~40 a, 鉴于以往研究中, 60 a 左右的兴安落叶松人工林依然具有较高的植被碳累积量和良好的经济效益<sup>[9]</sup>, 建议实际经营中将主伐年龄延长至 60 a.

2) 树种组成是林型划分的重要依据, 同时对森林土壤也有着深远的影响. 目前, 兴安落叶松人工林多以纯林形式存在, 兴安落叶松生长过程中向土壤释放出大量酸性物质, 使土壤 pH 降低, 造成了较为普遍的土壤酸化、板结、地表植被消失等地力衰退问题<sup>[8]</sup>. 而原始落叶松林中混生其他乔木树种, 长期以来保持了较高的 SOC 含量和较低的土壤容重, 土质疏松、保水透气, 没有出现酸化、板结现象, SOC 碳贮量也较高. 由此可见, 落叶松混交林可以克服落叶松纯林对森林土壤造成的不利影响, 维持较高的 SOC 碳贮量, 保证落叶松人工林在经营上的可持续性. 建议研究区落叶松人工林经营过程中, 采用混交林替代纯林, 以保证该地区落叶松人工林土壤碳库的长期维持.

## 参考文献

- [1] Houghton J, Ding Y, Griggs D, *et al.* IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- [2] Wang Q-L (王庆礼), Chen G (陈 高), Dai L-M (代力民), *et al.* Ecosystem Healthics: Theory and Application. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2007 (in Chinese)
- [3] Dixon RK, Solomon AM, Brown S, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, **263**: 185–190
- [4] Zhou GY, Liu SG, Li ZA, *et al.* Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science*, 2006, **314**: 1417
- [5] Zinn YL, Resck DVS, Silva JE. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2002, **166**: 285–294
- [6] Chen XW, Li BL. Change in soil carbon and nutrient storage after human disturbance of a primary Korean pine forest in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 2003, **186**: 197–206
- [7] Chen FS, Zeng DH, Fahey TJ, *et al.* Organic carbon in soil physical fractions under different-aged plantations of Mongolian pine in semi-arid region of Northeast China. *Applied Soil Ecology*, 2010, **44**: 42–48
- [8] Liu S-R (刘世荣), Chai Y-X (柴一新), Cai T-J (蔡体久), *et al.* Study on biomass and net primary productivity of Dahurian larch plantation. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 1990, **18** (2): 40–46 (in Chinese)
- [9] Qi G (齐 光), Wang Q-L (王庆礼), Wang X-C (王新闯), *et al.* Vegetation carbon storage in *Larix gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(2): 273–279 (in Chinese)
- [10] Liu Z-G (刘志刚), Ma Q-Y (马钦彦), Pan X-L (潘向丽). Study on the biomass and productivity of *Larix gmelinii* natural forest. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 1994, **18**(4): 328–337 (in Chinese)
- [11] Li S-Y (李世业). Study on the Responses of the Carbon Distribution of *Larix gmelinii* Forest to Climate Warming. Master Thesis. Harbin: Northeast Forestry University, 2007 (in Chinese)
- [12] Mei L (梅 莉), Zhang Z-W (张卓文), Gu J-C (谷加存), *et al.* Carbon and nitrogen storages and allocation in tree layers of *Fraxinus mandshurica* and *Larix gmelinii* plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(8): 1791–1796 (in Chinese)
- [13] Mu C-C (牟长城), Wan S-C (万书成), Su P (苏平), *et al.* Biomass distribution patterns of *Alnus hirsuta* and *Betula platyphylla*-swamp ecotone communities in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(2): 2211–2216 (in Chinese)
- [14] Dai LM, Wu G, Zhao JZ, *et al.* Carbon cycling of alpine tundra ecosystems on Changbai Mountain and its comparison with arctic tundra. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2002, **45**: 903–910
- [15] Wang S-Q (王绍强), Zhou C-H (周成虎), Liu J-Y (刘纪远), *et al.* Simulation analyses of terrestrial carbon cycle balance model in Northeast China. *Acta Geo-*

- graphica Sinica* (地理学报), 2001, **56**(4): 390–400 (in Chinese)
- [16] Yang L-Y (杨丽韞), Li W-H (李文华). The underground root biomass and C storage in different forest ecosystems of Changbai Mountains in China. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2003, **18**(2): 204–209 (in Chinese)
- [17] Yang Y, Mohammad A, Feng J, *et al.* Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China. *Biogeochemistry*, 2007, **84**: 131–141
- [18] Liu G-S (刘光崧). Chinese Ecosystem Research Network Observation and Standard Analysis Methods; Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles. Beijing: China Standards Press, 1996 (in Chinese)
- [19] Nelson DW, Sommers LE. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter; Methods of Soil Analysis II. Madison: American Society of Agronomy, 1982
- [20] Chen L-X (陈立新), Chen X-W (陈祥伟), Duan W-B (段文标). Larch litter and soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1998, **9**(6): 581–586 (in Chinese)
- [21] Zhou H-X (周海霞), Zhang Y-D (张彦东), Sun H-L (孙海龙), *et al.* Soil respiration in temperate secondary forest and *Larix gmelinii* plantation in Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(12): 2668–2674 (in Chinese)
- [22] Shao Y-H (邵月红), Pan J-J (潘剑君), Sun B (孙波). Study on characteristics of soil organic carbon decompositions and carbon pool under different vegetations. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2005, **19**(3): 24–28 (in Chinese)
- [23] Wang H-J (王洪君), Gong F (宫 芳), Zheng B-R (郑宝仁), *et al.* Physical and chemical properties of the soil for larch plantations. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 1997, **25**(3): 75–79 (in Chinese)
- [24] Fang JY, Guo ZD, Piao SL, *et al.* Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981–2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, **50**: 1341–1350
- [25] Piao SL, Fang JY, Ciais P, *et al.* The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, **458**: 1009–1013
- [26] Shi J (史 军), Liu J-Y (刘纪远), Gao Z-Q (高志强), *et al.* Research advances of the influence of afforestation on terrestrial carbon sink. *Progress in Geography* (地理科学进展), 2004, **23**(2): 58–67 (in Chinese)
- [27] Jiang LF, Shi FC, Zu YG, *et al.* Study on stem respiration of *Larix gmelinii* of different ages and its relationship to environmental factors. *Bulletin of Botanical Research*, 2003, **23**: 296–301
- [28] Wang Y, Li Y, Ye X, *et al.* Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**: 1925–1931
- [29] Fang Y-T (方运霆), Mo J-M (莫江明), Brown S, *et al.* Storage and distribution of soil organic carbon in Dinghushan Biosphere Reserve. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(1): 135–142 (in Chinese)
- [30] Jiang Y-L (蒋延玲), Zhou G-S (周广胜). Carbon balance of *Larix gmelini* forest and impacts of management practices. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2002, **26**(3): 317–322
- [31] Ren H, Chen H, Li ZA, *et al.* Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant and Soil*, 2010, **327**: 279–291

---

作者简介 齐 光,男,1983 年生,博士. 主要从事森林生态与森林碳汇研究. E-mail: qiguang594@163.com

责任编辑 李凤琴

---