

网络出版时间:2017-05-10 13:36 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.06.007
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170510.1336.014.html

兴安落叶松人工林土壤碳密度分布特征研究

舒 洋¹,周 梅^{1,2},赵鹏武^{1,2},葛 鹏¹,张 波¹,王梓璇¹,赵 威³

(1 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院,内蒙古 呼和浩特 010020;

2 内蒙古赛罕乌拉森林生态系统国家定位观测研究站,内蒙古 赤峰 025150;

3 内蒙古毕拉河国家级自然保护区管理局,内蒙古 呼伦贝尔 165474)

【摘 要】【目的】分析不同人工更新造林方式下兴安落叶松林土壤碳密度分布特征,为研究地区人工林生态系统碳汇管理及造林实践提供理论依据。【方法】2015 年 7—8 月,以内蒙古大兴安岭林区不同人工更新造林方式(荒山荒地、水湿地、火烧迹地)和林龄(幼龄林、中龄林)的兴安落叶松林人工林为研究对象,通过野外调查与室内分析相结合的方法,对兴安落叶松幼龄林和中龄林 0~40 cm 土层土壤有机碳、碳密度以及分布特征进行比较研究。【结果】不同人工更新造林方式下,幼龄林和中龄林落叶松各土层土壤有机碳含量分别为 26.84~105.42、30.26~101.81 g/kg,土壤有机碳主要集中在 0~20 cm 土层,其所占比例在 63%以上,均随着土层的加深而降低;幼龄林和中龄林落叶松各土层土壤碳密度分别为 23.80~106.98、34.84~89.48 t/hm²,也随着土层的加深而降低,0~20 cm 土层碳密度占土壤总碳密度的 60%以上,呈现表层聚集现象。幼龄林不同人工更新造林方式土壤总碳密度(0~40 cm 土层)分别为火烧迹地(258.98 t/hm²)>荒山荒地(249.24 t/hm²)>水湿地(238.12 t/hm²),中龄林不同人工更新造林方式土壤总碳密度分别为荒山荒地(263.92 t/hm²)>火烧迹地(253.83 t/hm²)>水湿地(249.44 t/hm²),且不同更新造林方式之间差异均显著。【结论】不同人工更新造林方式下,兴安落叶松人工林土壤有机碳含量及碳密度存在明显差异,在未来研究区造林实践中,建议选择火烧迹地、荒山荒地造林,对于水湿地应以保护和保护性利用为主,并且减少人类活动对森林表层土壤的干扰和破坏。

【关键词】 大兴安岭;人工林;兴安落叶松;土壤碳密度

【中图分类号】 S714

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)06-0044-09

Distribution of plantation soil carbon density in *Larix gmelinii* forest

SHU Yang¹,ZHOU Mei^{1,2},ZHAO Pengwu^{1,2},GE Peng¹,ZHANG Bo¹,
WANG Zixuan¹,ZHAO Wei³

(1 College of Grassland,Resources and Environmental,Inner Mongolia Agricultural University,Huhot,Inner Mongolia 010020,China;

2 Saihanwula Forest Ecosystem National Research Station,Chifeng,Inner Mongolia 025150,China;

3 Bilahe National Nature Reserve,Hulunbeier,Inner Mongolia 165474,China)

Abstract: 【Objective】 This paper analyzed soil carbon density and distribution under different artificial reforestation methods in *Larix gmelinii* forests to provide theoretical basis for regional ecosystem carbon sink management and cultural practices of plantation forest. 【Method】 During July to August,2015,soil organic carbon,carbon density and distribution in depth of 0—40 cm in *Larix gmelinii* forests that were planted under different artificial reforestation ways (barren wasteland,wet ground and burned forest sites) with different ages (young growth and middle-aged) were determined based on combination of field investi-

【收稿日期】 2016-05-13

【基金项目】 国家自然科学基金项目“火烧木管理对寒温带森林火灾后冻土释放二氧化碳的影响研究”(41563006);内蒙古自治区科技计划项目“大兴安岭森林火灾后生态监测与评价技术研究”(20130435)

【作者简介】 舒 洋(1988—),男,内蒙古通辽人,在读博士,主要从事森林生态学研究。E-mail:shuyang_happy@126.com

【通信作者】 周 梅(1960—),女(蒙古族),内蒙古呼和浩特人,教授,博士生导师,主要从事森林生态学研究。

E-mail:dxal528@aliyun.com

gation and lab analysis at Daxingan Mountains in Inner Mongolia. 【Result】 The organic carbon contents in young and middle-aged *Larix gmelinii* forests were 26.84—105.42 and 30.26—101.81 g/kg. The 0—20 cm soil layer contributed to more than 63%, and they decreased with soil depth. The layer carbon densities were 23.80—106.98 and 34.84—89.48 t/hm². They also decreased with soil depth and the ratio of surface 0—20 cm layer was more than 60%, indicating surface aggregation. The averages of total soil carbon density in young forests were in a decreasing order of burned forest sites (258.98 t/hm²) > barren wasteland (249.24 t/hm²) > wet ground (238.12 t/hm²), while the order for middle-aged forests was barren wasteland (263.92 t/hm²) > burned forest sites (253.83 t/hm²) > wet ground (249.44 t/hm²). There were significant differences among different artificial reforestation methods. 【Conclusion】 There were significant differences in soil organic carbon and carbon density of *Larix gmelinii* plantations among different reforestation ways. Burned forest sites, barren hills, and wasteland afforestation are suggested. Wet ground should be protected and protectively used and the interference of human activities should be reduced.

Key words: Daxingan Mountains; artificial plantations; *Larix gmelinii*; soil carbon density

当前,由 CO₂ 等为主的温室气体引起的温室效应是世界各国所面临的最严峻的环境问题之一。巨大的土壤有机碳库容((1 300~2 000)×10⁹ t),主要分布在土壤表层且与大气交换活跃,其蓄积量较小幅度的变动,都可导致二氧化碳等温室气体浓度的较大波动^[1]。土壤有机碳库是陆地生态系统中最大的碳库,在 0~100 cm 土层内,全球约有 1 500 Pg 碳以有机质形式存在于土壤中,其碳储量大约是陆地植被碳储量(500~600 Pg)的 3 倍、大气碳储量(750 Pg)的 2 倍^[2-3],因此土壤有机碳库的微小变化,都会对全球碳循环和碳平衡产生重要影响^[4-5]。国外关于土壤有机碳的研究最早开始于 20 世纪 50~60 年代,20 世纪 80~90 年代后,其相关理论得以不断完善与深化^[6-7]。许多国外学者研究指出,森林土壤在全球碳循环中起着非常重要的作用^[8-9],且森林土壤碳约占全球土壤有机碳库的 73%^[10]。近年来,在广大平原地区,天然林早已消失殆尽,人工林得到迅速发展。因此森林碳汇主要来自人工林,随人工林面积的增加,其固碳作用也日益增大^[11]。

人工林的碳汇作用包括林木和土壤,与林木相比,森林土壤碳库更具持久性和稳定性,被公认为是最具潜力的碳汇^[12]。土壤有机碳(SOC)是土壤养分循环转化的核心,容易受气候和土地利用的影响^[13],其主要来源于植物、动物、微生物残体及其排泄物与分泌物,并处于不断分解和合成的动态过程^[14]。

大兴安岭林区地处北半球高纬度区域,是全球气温变化最明显的地区之一^[15]。大兴安岭是我国惟一的寒温带针叶林区,同时作为国家重要的生态功能区与生态敏感区,对我国东北平原乃至华北平

原起着重要的生态屏障作用。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,加强碳源、碳汇研究,对进一步定量评价其碳汇功能具有重要意义。

目前针对兴安落叶松土壤有机碳、碳密度、碳储量的研究较多,如齐光等^[16]对大兴安岭林区不同龄级兴安落叶松人工林土壤有机碳储量进行了研究;魏亚伟等^[17]选择大兴安岭林区的兴安落叶松不同龄级天然林为研究对象,对其植被层和土壤层的碳储量及其碳库分配特征进行了研究;李攀等^[18]、王昌亮等^[19]、李金博等^[20]针对林火干扰、不同间伐强度、不同林型对兴安落叶松土壤有机碳、碳储量的影响进行了研究。目前大部分研究集中在对不同龄级、不同间伐强度、不同林型等兴安落叶松土壤碳密度的估算及影响上,而对于不同更新造林方式下的土壤碳密度差异的研究尚未见报道。自 20 世纪 80 年代开始,内蒙古大兴安岭林区进行了大面积的荒山荒地、水湿地、火烧迹地造林,截至 2013 年,3 种更新造林方式合计造林面积近 100 万 hm²,其造林面积占全区总人工造林面积的比重较大^[21],但究竟哪种方式更适合造林,并能发挥最大的碳汇功能,目前尚不清楚。因此本试验选择内蒙古大兴安岭林区不同人工更新造林的兴安落叶松为研究对象,对其土壤有机碳、碳密度及分布特征进行研究,以期为未来因地制宜选择造林地以及定量评价大兴安岭林区的碳汇功能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古大兴安岭林区的根河市、阿

里河镇、乌尔旗汗镇、库都尔镇、绰尔镇境内,其中根河林业局位于呼伦贝尔市的北部,是内蒙古自治区最北部的旗市之一,地处呼伦贝尔市东北部,大兴安岭北段西坡,自然地理特点是高纬度、高寒冷地区,是中国纬度最高的城市之一。阿里河林业局东与黑龙江省大兴安岭地区加格达奇区为邻,南与乌鲁布铁镇相接,西与吉文镇、甘河镇接壤,北以伊勒呼里

山为界与黑龙江省呼玛毗邻。乌尔旗汗林业局地处大兴安岭西坡,东邻鄂伦春自治旗,南接煤田镇,西抵牧原镇。库都尔林业局位于牙克石市境东北部,处于大兴安岭主脉中段高地。绰尔林业局位于内蒙古大兴安岭林区南部,行政隶属内蒙古自治区呼伦贝尔市、牙克石市、扎兰屯市、鄂温克族自治旗管辖。研究区详细信息见表 1。

表 1 内蒙古大兴安岭落叶松人工林研究区的基本概况

研究区 Study area	地理坐标 Geographical coordinates		年均气温/℃ Average annual temperature	平均海拔/m Average altitude
根河市 Genhe City	E120°12′~122°55′,	N50°20′~52°30′	−5.3	1 241
阿里河镇 Alihe Town	E123°43′~123°45′,	N50°34′~50°36′	−2.7	750
乌尔旗汗镇 Wuerqihan Town	E121°12′~122°50′,	N49°15′~49°52′	−2.6	709
库都尔镇 Kuduer Town	E120°53′~121°59′,	N49°36′~50°16′	−5.0	1 058
绰尔镇 Chaoer Town	E120°18′~121°37′,	N47°35′~48°10′	−3.2	900

1.2 方 法

1.2.1 样地设置与调查方法 2015 年 7—8 月,在内蒙古大兴安岭根河市、阿里河镇、乌尔旗汗镇、库都尔镇、绰尔镇,分别选取立地条件、林分状况基本一致的不同人工更新造林(荒山荒地、水湿地、火烧迹地造林)兴安落叶松人工林为研究对象,并根据不同林龄、不同人工更新造林分别设置标准地,标准地

面积为 30 m×30 m,每种类型设置 3 块重复样地,其中由于各研究区域并非均存在 3 种更新方式造林,或者存在但是造林面积过小而不具有代表性,因此根据各区域实际情况设置标准地,共计 36 块。具体样地调查信息见表 2,其中林龄 9 年的为幼龄林,林龄 29 年的为中龄林。

表 2 内蒙古大兴安岭落叶松人工林样地的基本信息

更新造林方式 Different way of reforestation	研究区 Study area	林龄/年 Forest age	平均树高/m Average tree height	平均胸径/cm Mean DBH	林分密度/(株·hm ^{−2}) Stand density
荒山荒地 Barren wasteland	根河市 Genhe City	9	4.2	4.32	3 433
		9	4.4	4.64	3 244
		9	3.7	4.56	3 567
	乌尔旗汗镇 Wuerqihan Town	9	3.8	4.12	3 622
		9	4.0	4.34	3 546
		9	4.2	4.28	3 311
	绰尔镇 Chaoer Town	29	15.3	18.36	1 778
		29	13.4	17.24	2 488
		29	11.2	17.28	2 122
	乌尔旗汗镇 Wuerqihan Town	29	11.8	16.86	2 489
		29	12.5	17.44	2 133
		29	13.9	17.68	2 376
水湿地 Wet ground	根河市 Genhe City	9	2.9	2.86	3 544
		9	2.7	2.52	3 333
		9	3.0	2.64	3 278
	阿里河镇 Alihe Town	9	2.8	2.56	3 578
		9	3.2	2.74	3 256
		9	3.4	2.96	2 844
	库都尔镇 Kuduer Town	29	12.0	12.00	2 522
		29	11.4	13.26	2 711
		29	12.3	12.52	2 436
	绰尔镇 Chaoer Town	29	11.7	12.62	2 789
		29	11.0	12.22	3 244
		29	11.2	12.46	2 867

表 2(续) Continued table 2

更新造林方式 Different way of reforestation	研究区 Study area	林龄/年 Forest age	平均树高/m Average tree height	平均胸径/cm Mean DBH	林分密度/(株·hm ⁻²) Stand density
火烧迹地 Burned forest sites	根河市 Genhe City	9	2.8	2.94	3 889
		9	3.3	3.66	3 312
		9	3.6	2.78	3 578
	阿里河镇 Alihe Town	9	3.0	3.64	3 289
		9	3.5	3.88	3 208
		9	2.9	3.12	3 533
	库都尔镇 Kuduer Town	29	11.8	14.12	2 489
		29	12.5	14.88	2 767
		29	13.6	15.24	2 496
	绰尔镇 Chaoer Town	29	12.8	14.32	2 544
		29	13.6	15.78	2 056
		29	12.0	14.06	2 796

1.2.2 土壤样品采集 在标准地内按照“S”形取样法挖取土壤剖面,每个标准地挖取 5 个剖面,用剖面刀将观察面剔成自然状态,初步按 0~10,10~20,20~30,30~40,40~60 和>60 cm 共 6 层收集样品,但由于研究区内土层较薄,因此仅采集到 0~40 cm 土层土壤样品。取土采用先下后上的原则。在采集过程中要尽量剔除石砾、植物残根等,每层采集的土壤样品不少于 500 g。同时采用环刀法对 0~40 cm 各层土壤均取 3 个重复样品,用于土壤体积质量测定,最后将土壤样品带回实验室进行分析。

1.2.3 测定指标及方法 土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化外加加热法测定。土壤体积质量采用环刀法测定,计算公式如下:

$$\rho_b=M_s/V_i。$$

式中: ρ_b 为土壤体积质量(g/cm³), M_s 为烘干后土质量(g), V_i 为环刀体积(cm³)。

土壤有机碳密度计算公式如下:

$$SOC=\sum_{i=1}^kSOC_i=\sum_{i=1}^k\frac{C_i\times D_i\times E_i(1-G_i)}{10}。$$

式中:SOC 为单位面积土体的碳密度(kg/m²), k 为土壤所分层次, C_i 为土壤有机碳含量, D_i 为土壤体积质量(g/cm³), E_i 为土层厚度(cm), G_i 为粒径大于 2 mm 石砾所占的体积百分比。

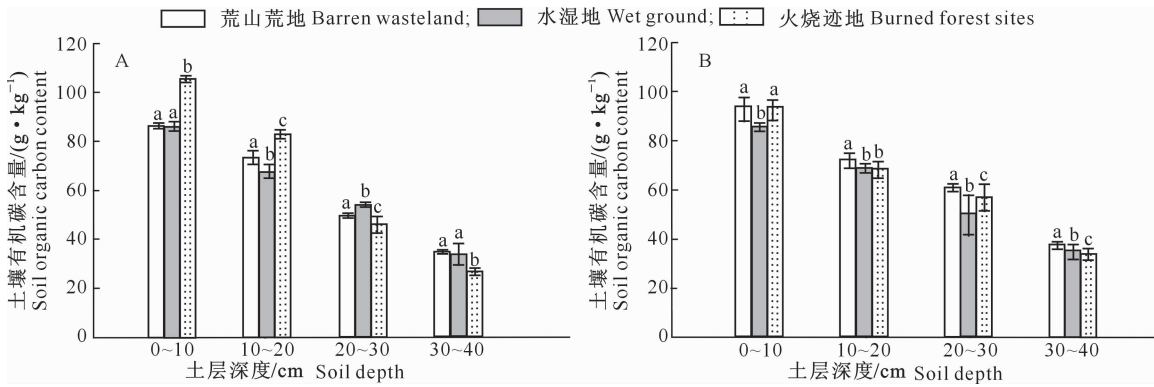
1.3 数据分析

采用 Excel 2010 对数据进行整理,运用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,利用 Sigmaplot 10.0 软件进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同人工更新造林方式下土壤有机碳的比较

2.1.1 有机碳含量的比较 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭落叶松幼龄林、中龄林各土层土壤的有机碳含量见图 1。



图柱上标不同小写字母表示同一土层不同更新造林方式间差异显著(P<0.05),下同

Different lowercase letters indicate significant difference among methods (P<0.05),the same below

图 1 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭落叶松幼龄林(A)、中龄林(B)各土层土壤有机碳含量比较

Fig.1 Comparison of soil organic carbon content in young (A) and middle-aged(B) *Larix gmelinii* forests among different artificial reforestation methods in Daxingan Mountains,Inner Mongolia

由图 1 可知,兴安落叶松幼龄林土壤有机碳含量随着土层的加深逐渐减少,主要集中在 0~20 cm 土层中,占总有机碳的比例为 63.5%~72.1%,呈现表层聚集现象。不同土层之间土壤有机碳含量为

26.84~105.42 g/kg,其中以火烧迹地 0~10 cm 土层最大。不同人工更新造林下兴安落叶松林各土层之间有机碳含量没有明显的规律,在 0~10,10~20 cm 土层中,均以火烧迹地的土壤有机碳含量最大,而且与水湿地和荒山荒地之间差异显著;20~40 cm 土层中火烧迹地的土壤有机碳含量均较小,且与水湿地和荒山荒地之间有显著差异。

由图 1 还可知,兴安落叶松中龄林不同土层之间土壤有机碳含量为 30.26~101.81 g/kg,随着土层的加深逐渐减少。0~10 cm 土层,荒山荒地与水湿地之间差异不显著,但均显著高于火烧迹地;10~20 cm 土层,荒山荒地有机碳含量显著高于水湿地和火烧迹地,水湿地与火烧迹地之间没有显著差异。

20~30 和 30~40 cm 土层不同人工更新造林方式之间土壤有机碳含量之间差异均显著。

2.1.2 有机碳所占比例的比较 由图 2 可知,兴安落叶松幼龄林 0~10,10~20,20~30,30~40 cm 土层有机碳所占比例分别为 35.42%~40.33%,27.91%~31.74%,17.67%~22.42%,10.27%~14.25%;中龄林 0~10,10~20,20~30,30~40 cm 土层有机碳所占比例分别为 35.38%~37.03%,27.12%~28.72%,20.83%~22.93%,13.40%~14.80%。可知幼、中龄林土壤有机碳主要集中在 0~20 cm 土层中,占总有机碳的比例达到 63%以上,并且随着土层加深,各土层土壤有机碳所占比例均逐渐降低。

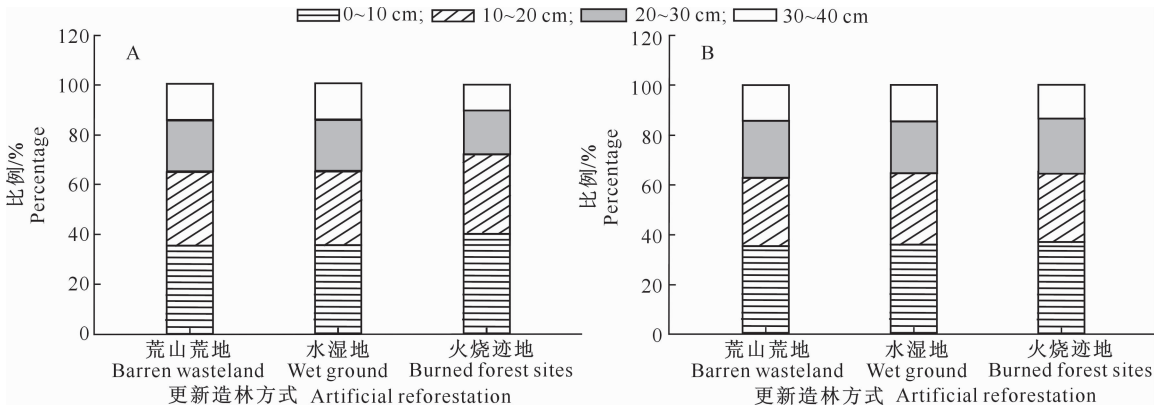


图 2 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭落叶松幼龄林(A)、中龄林(B)各土层土壤有机碳所占比例比较

Fig. 2 Comparison of distribution of soil organic carbon in young (A) and middle-aged(B)

Larix gmelinii forests in Daxingan Mountains, Inner Mongolia

2.2 不同人工更新造林方式下土壤碳密度的比较

2.2.1 土壤碳密度的比较 由图 3 可知,兴安落叶松幼龄林不同人工更新造林方式下各土层土壤碳密度在 23.80~106.98 t/hm²,且没有一致的变化规律。其中在 0~10 cm 土层,以火烧迹地土壤碳密度最大,与其他更新造林方式差异显著;在 10~20 cm

土层,以水湿地造林土壤碳密度最小,显著小于其他 2 种更新造林方式;在 20~30 cm 土层,土壤有机碳密度变化与 10~20 cm 土层结果恰恰相反,即水湿地土壤碳密度最大,显著大于其他 2 种更新造林方式;在 30~40 cm 土层,火烧迹地土壤碳密度最小,显著低于其他 2 种更新造林方式。

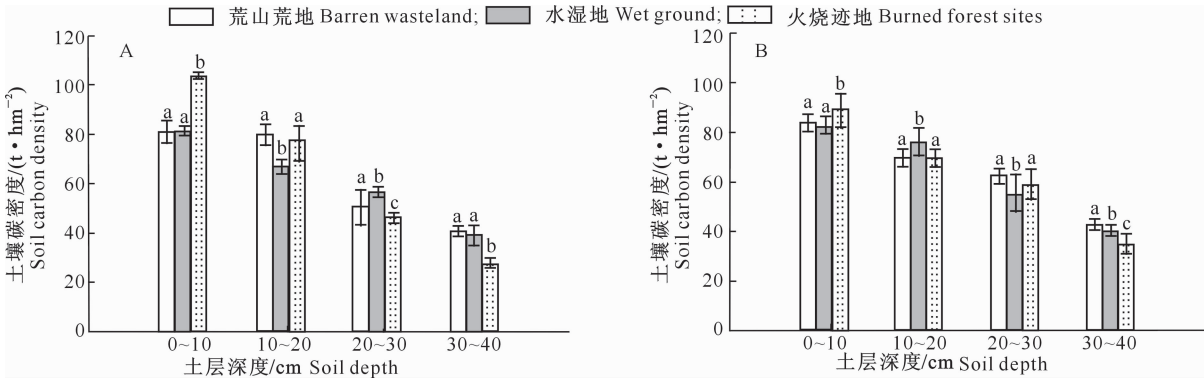


图 3 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭落叶松幼龄林(A)、中龄林(B)各土层土壤碳密度比较

Fig. 3 Comparison of distribution of soil carbon density of young (A) and middle-aged (B)

Larix gmelinii forests in Daxingan Mountains, Inner Mongolia

由图 3 还可知,兴安落叶松中龄林中不同人工更新造林方式各土层土壤碳密度在 34.84~89.48 t/hm²,均随着土层的加深土壤碳密度逐渐减少,呈现表层聚集现象。其中在 0~10 cm 土层,火烧迹地土壤碳密度最大,显著大于其他 2 种更新造林方式;在 10~20 cm 土层,水湿地土壤碳密度为最大,并显著高于火烧迹地和荒山荒地;在 20~30 cm 土层,土壤碳密度变化与 10~20 cm 土层结果相反,即以水湿地为最小;在 30~40 cm 土层,火烧迹地有机碳密度最小,显著低于水湿地和荒山荒地,且荒山荒地与水湿地之间也达差异显著水平,以荒山荒地最大。

2.2.2 土壤碳密度所占比例的比较 由图 4 可以看出,兴安落叶松幼龄林 0~10,10~20,20~30,30~40 cm 土层碳密度所占比例分别为 32.03%~40.50%,27.51%~31.70%,18.26%~23.10%,10.95%~16.15%;中龄林 0~10,10~20,20~30,30~40 cm 土层碳密度所占比例分别为 32.39%~35.47%,26.90%~30.03%,21.74%~24.19%,13.81%~16.51%。可知土壤碳密度主要集中在 0~20 cm 土层,占土壤总碳密度的 60%以上,呈现表层聚集现象;随着土层加深,各土层碳密度所占比例降低,以 30~40 cm 土层土壤碳密度所占比例最低。

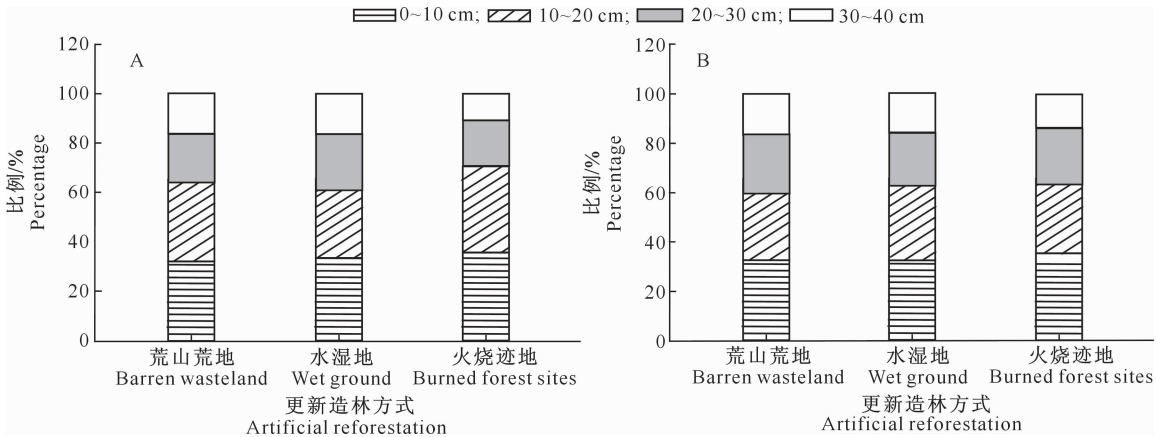


图 4 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭幼龄林(A)、中龄林(B)各土层土壤碳密度所占比例比较

Fig. 4 Layers of soil carbon density distribution in young (A) and middle-aged(B) *Larix gmelinii* forests in Daxingan Mountains, Inner Mongolia

2.3 不同人工更新造林方式土壤总碳密度的比较

不同人工更新造林方式土壤总碳密度结果见表 3。

表 3 不同人工更新造林方式下内蒙古大兴安岭落叶松幼龄林和中龄林土壤总碳密度的比较

Table 3 Comparison of distribution of total soil carbon density of young and middle-aged *Larix gmelinii* forests in Daxingan Mountains, Inner Mongolia t/hm²

龄级 Age class	荒山荒地 Barren wasteland	水湿地 Wet ground	火烧迹地 Burned forest sites
幼龄林 Young forest	249.24 b	238.12 c	258.98 a
中龄林 Middle age forest	263.92 a	249.44 c	253.83 b

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters represent significant difference ($P<0.05$).

由表 3 可知,荒山荒地、水湿地、火烧迹地造林兴安落叶松幼龄林的土壤总碳密度(0~40 cm 土层)分别为 249.24,238.12,258.98 t/hm²,不同人工更新造林方式土壤总碳密度均存在显著差异,其

中以火烧迹地土壤总碳密度最大,水湿地最小;荒山荒地、水湿地、火烧迹地造林中龄林的土壤总碳密度分别为 263.92,249.44,253.83 t/hm²,不同人工更新造林方式土壤总碳密度差异也显著($P<0.05$),且以荒山荒地土壤总碳密度最大,水湿地最小。可见不同龄级兴安落叶松均以水湿地造林土壤碳密度最小。

3 讨论

本研究中,不同龄级土壤有机碳含量、碳密度均随着土层加深而降低,这与曹吉鑫等^[22]、舒洋等^[23]、李龙等^[24]的研究结论一致。此外,杨金艳等^[25]对东北东部地区森林的研究也得出,土壤有机碳储量随土层深度的增加而递减。土壤有机碳在表层表现出明显的聚集性,表明表层有机碳具有“表聚作用”^[26]。本研究中,土壤有机碳富集在 0~20 cm 土层,而 Batjes^[27]对不同土壤有机碳储量的研究得出,0~30 cm 土层土壤有机碳所占的比例平均为 49%,与其相比,本研究中土壤表层聚集作用更为明显,这

可能是由于大兴安岭林区土壤土层较薄,植被根系垂直分布较浅所致。森林土壤有机碳的来源主要是动植物残体和地表植被根系等,由于这些物质深入土壤的深度一定,加之降雨淋溶作用中的微生物分解碳随雨水入渗到土壤的深度也一定,使土壤有机碳具有明显的垂直分布特征^[25]。因此,加强对森林表层土壤的保护具有重要的意义。

本研究中,在幼龄林 0~10,10~20 cm 土层,与水湿地和荒山荒地相比,火烧迹地有机碳含量均最高,而在中龄林 0~10,10~20 cm 土层中此现象并未出现,这主要是由于火烧后,中低强度火烧区域植被颗粒碳飘落转移、挥发性有机物附着在土壤表面,并随着雨水淋溶和微生物分解等,导致火烧迹地表层土壤有机碳含量出现短暂偏高现象,这与胡海清等^[28]关于火干扰对小兴安岭 2 种典型林型土壤养分和土壤微生物生物量影响的研究结论“火干扰后兴安落叶松林土壤有机碳含量总平均值有所增加”相一致。

地上植被是影响林下土壤有机碳含量的重要因素之一,而地上植被生长的好坏又与土壤的养分条件有直接关系。本研究中,不同更新造林方式下,兴安落叶松幼龄林和中龄林土壤总碳密度分别以火烧迹地、荒山荒地最大,均以水湿地为最小。我国东北林区自 20 世纪 80 年代以来相继开展了湿地排水造林实践,目前形成的湿地落叶松人工林面积约在数万至数十万 hm^2 ^[29]。但水湿地造林需要在前期进行排水,耗费较多人力物力,且排水造林提升了湿地的微地势,缩短了积水周期,减少了积水量,使土壤温度、湿度以及通气条件得以改善,加速了泥炭分解和土壤有机质的矿化过程,最终使泥炭层逐步转变为土壤层^[30-31]。因此本研究结果显示,无论在幼龄林还是中龄林,均以水湿地土壤总碳密度为最小。同样,崔巍等^[32]研究发现,在大兴安岭对人工落叶林实施排水造林,不仅改变了大兴安岭水湿地过渡带土壤碳储量的分布格局,而且显著降低了过渡带中、下部生境地段的土壤碳储量,与天然湿地植被相比显著降低了沼泽湿地生态系统碳储量,导致土壤碳储量显著降低 19.4%~43.4%。而张武文等^[31]在大兴安岭水湿地进行的研究表明,造林 10 年后,草本植物大量减少,乔、灌木少量增加,植物群落向以落叶松为主的森林群落发展。这种变化对当地经济发展有积极的一面,但却对区域生物多样性及生态环境产生不利影响。

本研究中,在幼龄林 0~40 cm 土层,火烧迹地

造林土壤有机碳总含量、总碳密度均最大,这主要是由于随着火烧年限延长,火烧灰烬、地表枯落物经过微生物分解、雨水淋洗进入土壤,土壤营养元素均得到显著增加,土壤体积质量逐步降低,孔隙度逐步增大,对于兴安落叶松人工林生长初期非常有利,其碳储量呈明显上升趋势^[33-34]。韩雪成等^[35]研究得出,火烧后 25 年,人工恢复兴安落叶松人工林基本恢复到未火烧落叶松天然林水平。本研究中,中龄林 0~40 cm 土层,荒山荒地造林土壤总碳密度为最大,主要是由于研究区域内荒山荒地土壤条件较好,土层较厚,土壤养分较高,降雨量充足,坡度较缓,而兴安落叶松更适合在土层深厚、肥润、排水良好的北向缓坡及丘陵地带生长,相对于其他 2 种人工更新造林方式,荒山荒地造林各方面条件在中后期更适合兴安落叶松林的生长。因此,未来对大兴安岭水湿地应以保护和保护性利用为主,不宜大规模改造造林。本研究目前只对兴安落叶松人工林不同更新造林方式下土壤层有机碳含量、土壤碳密度进行了分析,而未对地上植被层碳密度等变化进行分析研究,此将为后续研究重点。

4 结 论

兴安落叶松不同龄级土壤有机碳含量、碳密度均随着土层的加深逐渐减少,而且主要集中在 0~20 cm 土层,呈现表层聚集现象。同一土层不同人工更新造林方式土壤有机碳含量、碳密度没有一致的变化规律。不同人工更新造林方式下,幼龄林和中龄林土壤总碳密度之间均存在显著差异($P < 0.05$),其中均以水湿地造林土壤总碳密度最小。

内蒙古大兴安岭在未来林业建设过程中,应该加强对森林生态系统的科学管理,加强森林抚育,尤其对林下 0~20 cm 土层土壤的保护和科学利用应给予高度重视,应避免因不合理的人为活动破坏地表;在未来人工造林中,应首先选择合适树种,并因地制宜地进行人工造林,在本研究的 3 种不同人工更新造林方式中,首选火烧迹地和荒山荒地造林,而对于大兴安岭水湿地应以保护和保护性利用为主,不宜进行大规模改造造林。

[参考文献]

- [1] 方精云. 全球生态学:气候变化与生态响应 [M]. 北京:高等教育出版社,2000:46-89.
Fang J Y. Global ecology: climate and response [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 46-89.
- [2] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux

- of global forest ecosystems [J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [3] Fantappie M, L'Abate G, Costantini E A C. The influence of climate change on the soil organic carbon content in Italy from 1961 to 2008 [J]. Geomorphology, 2011, 135(3/4): 343-352.
- [4] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis [J]. Global Change Biology, 2002, 8(4): 345-360.
- [5] Poeplau C, Don A, Vesterdal L, et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone: carbon response functions as a model approach [J]. Global Change Biology, 2011, 17(7): 2415-2427.
- [6] Saha S K, Nair P K R, Nair V D, et al. Soil carbon stock in relation to plant diversity of homegradens in Kerala, India [J]. Agroforestry Systems, 2009, 76(1): 53-65.
- [7] Scheme D S, House J I, Hibbard K A, et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystem [J]. Nature, 2001, 414: 169-172.
- [8] Lal R. Forest soils and carbon sequestration [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 242-258.
- [9] Detwiler R P, Hall C A S. Tropical forests and the global carbon cycle [J]. Science, 1988, 239: 42-47.
- [10] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. Science, 1994, 263: 185-190.
- [11] 王恭神, 马志波, 武惠肖, 等. 廊坊地区人工杨树林的碳贮量分析 [J]. 林业实用技术, 2006(5): 10-11.
Wang G S, Ma Z B, Wu H X, et al. Langfang area of artificial poplar forest carbon storage [J]. Practical Forestry Technology, 2006(5): 10-11.
- [12] 郭锦山, 尤文忠, 张慧东, 等. 森林经营管理对人工林土壤碳累积的影响 [J]. 辽宁林业科技, 2011(4): 34-36.
Guo J S, You W Z, Zhang H D, et al. The effects of forest management on soil carbon accumulation plantations [J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2011(4): 34-36.
- [13] 徐桂林, 方 晰, 田大伦, 等. 杉木林地不同更新方式土壤有机碳垂直分布及储量 [J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(3): 333-340.
Xu G L, Fang X, Tian D L, et al. Soil organic carbon distribution and storage with five regeneration patterns in *Cunninghamialanceolata* forests [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(3): 333-340.
- [14] 方 晰. 杉木人工林生态系统碳贮量与碳平衡的研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2004.
Fang X. Carbon storage and balance in Chinese fir plantation ecosystem [J]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2004.
- [15] Dai L M, Wu G, Zhao J Z, et al. Carbon cycling of alpine tundra ecosystems on Changbai Mountain and it's comparison with arctic tundra [J]. Science in China (Earth Sciences), 2002, 45: 903-910.
- [16] 齐 光, 王庆礼, 王新闯, 等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林土壤有机碳贮量 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 10-16.
- Qi G, Wang Q L, Wang X C, et al. Soil organic carbon storage in different aged *Larix gmelinii* plantations in Great Xing'an Mountains of Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(1): 10-16.
- [17] 魏亚伟, 周旺明, 周 莉, 等. 兴安落叶松天然林碳储量及其碳库分配特征 [J]. 生态学报, 2015, 35(1): 189-195.
Wei Y W, Zhou W M, Zhou L, et al. Carbon storage and its distribution pattern in the natural *Larix gmelinii* forests on Daxing'an mountains [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 189-195.
- [18] 李 攀, 李 齐, 周 梅, 等. 兴安落叶松林火烧迹地冻土碳储量分布规律研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 95-101.
Li P, Li Q, Zhou M, et al. Distribution of permafrost carbon storage in burned forest of *Larix gmelinii* [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2014, 42(4): 95-101.
- [19] 王昌亮, 王庆成, 张 程, 等. 间伐强度对落叶松人工林土壤有机碳的影响 [J]. 森林工程, 2015, 12(1): 12-16.
Wang C L, Wang Q C, Zhang C, et al. Effect of thinning intensity on soil organic carbon in *Larix gmelinii* plantation [J]. Forest Engineering, 2015, 12(1): 12-16.
- [20] 李金博, 朱道光, 崔福星, 等. 寒温带落叶松林不同林型土壤有机碳含量及相关性分析 [J]. 国土与自然资源研究, 2015(5): 72-75.
Li J B, Zhu D G, Cui F X, et al. Analysis on the relationship between soil organic carbon content and soil organic carbon in different leaves of larch in Alpine Region [J]. Territory & Natural Resources Study, 2015(5): 72-75.
- [21] 内蒙古大兴安岭林管局. 截止 2013 年更新造林保存面积汇总表 [M]. 内蒙古牙克石: 内蒙古大兴安岭林管局, 2013.
Inner Mongolia Daxinganling Forestry Authority. As of 2013, the summary table of reforestation preserved area [M]. Yakeshi, Inner Mongolia; Inner Mongolia Daxinganling Forestry Authority, 2013.
- [22] 曹吉鑫, 孙向阳, 高程达, 等. 宁夏贺兰山三种植被下土壤有机碳密度的比较 [J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1641-1644.
Cao J X, Sun X Y, Gao C D, et al. Comparison of soil organic carbon density under three vegetations in Helan Mountain of Ningxia [J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4): 1641-1644.
- [23] 舒 洋, 魏江生, 周 梅, 等. 乌拉山天然油松林土壤碳密度空间异质性研究 [J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1304-1307.
Shu Y, Wei J S, Zhou M, et al. Study on spatial heterogeneity of Wulashan natural *Pinus tabulaeformis* forest soil carbon density [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44(6): 1304-1307.
- [24] 李 龙, 姚云峰, 秦富仓, 等. 黄花甸子流域人工林土壤有机碳密度分布特征 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 77-82.
Li L, Yao Y F, Qin F C, et al. Distribution characteristics of

- soil organic carbon density of different forests in Huanghuadianzi watershed [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2016, 44(2): 77-82.
- [25] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量 [J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2875-2882.
- Yang J Y, Wang C K. Soil carbon storage and flux of temperate forest ecosystems in northeastern China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2875-2882.
- [26] 王文静, 王百田, 吕 钊, 等. 山西太岳山不同林分土壤有机碳储量研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(1): 81-85.
- Wang W J, Wang B T, Lü Z, et al. Soil organic carbon reserve of different forests in Taiyue mountain [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(1): 81-85.
- [27] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47: 151-163.
- [28] 胡海清, 李 莹, 张 冉, 等. 火干扰对小兴安岭两种典型林型土壤养分和土壤微生物生物量的影响 [J]. 植物研究, 2015, 35(1): 101-109.
- Hu H Q, Li Y, Zhang R, et al. Effect of fire disturbance on nutrient content and soil microbial biomass of two forest types [J]. Bulletin of Botanical Research, 2015, 35(1): 101-109.
- [29] 李文华, 周晓峰, 刘兴土. 东北地区森林湿地保育与可持续发展战略研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- Li W H, Zhou X F, Liu X T. The northeast forest wetlands conservation and the sustainable development strategy research [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [30] 牟长城, 孙晓新, 倪志英, 等. 大兴安岭林区沼泽: 森林人工造林效果综合评估 [J]. 林业科学, 2007, 43(10): 51-58.
- Mu C C, Sun X X, Ni Z Y, et al. Comprehensive evaluation of the effects planting in swamp: forest in Daxing'an Mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(10): 51-58.
- [31] 张武文, 马秀珍, 丁国栋, 等. 大兴安岭水湿地改造对土壤和植被的影响 [J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(6): 10-14.
- Zhang W W, Ma X Z, Ding G D, et al. The effect of the improvement of fenland on soil and vegetation in Daxing'an mountains [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1996, 24(6): 10-14.
- [32] 崔 巍, 牟长城, 卢慧翠, 等. 排水造林对大兴安岭湿地生态系统碳储量的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(5): 28-36.
- Cui W, Mu C C, Lu H C, et al. Effects of draining for forestation on carbon storage of wetland ecosystem in Daxing'an Mountains of northeastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(5): 28-36.
- [33] 韩雪成. 大兴安岭火烧迹地兴安落叶松人工林植被恢复效果研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- Han X C. Effect on process of burned areas *Larix gmelinii* plantations restoration in Daxinganling [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [34] 邹梦玲, 辛 颖, 赵雨森. 大兴安岭火烧迹地植被恢复对碳储量的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 133-137, 143.
- Zou M L, Xin Y, Zhao Y S. The influence of vegetation restoration on carbon storage of burned area in Daxing'anling [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(5): 133-137, 143.
- [35] 韩雪成, 赵雨森, 辛 颖. 大兴安岭兴安落叶松林火烧后人工恢复植被演替过程 [J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(2): 70-76.
- Han X C, Zhao Y S, Xin Y. Succession process of *Larix gmelinii* forest with artificial restoration after fire in Daxing'anling [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(2): 70-76.