

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

草类—兴安落叶松渐伐林固碳研究

郭景怡¹, 岳永杰¹, 邵建勋², 李婧³

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 林西县城市管理综合执法局, 内蒙古 林西 025250;
3. 包头市林业和草原局, 内蒙古 包头 014060)

摘要:以内蒙古大兴安岭草类—兴安落叶松渐伐林为研究对象,分析不同龄组林分植被层的生物量、碳密度、固碳速率、固碳潜力特征及变化趋势。研究表明,碳密度与生物量的变化方向一致,植被层生物量和碳密度变化范围分别为71.87~115.08 t/hm²、51.48~68.97 t/hm²,两者各层次大小顺序均为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层。植被层固碳速率变化范围为0.96~2.75 t/(hm²·a),随林龄的增加呈逐渐递减趋势。乔木层固碳速率随林龄增加而减小的变化趋势较明显,变化范围为0.26~0.83 t/(hm²·a),灌木层、草本层的固碳速率变化范围为0.19~0.55 t/(hm²·a)和0.39~1.87 t/(hm²·a)。植被层总固碳潜力随林龄增加而呈减小趋势,变化范围为3.61~21.11 t/hm²。

关键词:生物量;碳密度;固碳速率;固碳潜力;草类—兴安落叶松渐伐林

中图分类号:Q945.11;S791.222;S718.54 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0124-07

引文格式:郭景怡,岳永杰,邵建勋,等.草类—兴安落叶松渐伐林固碳研究[J].林业调查规划,2023,48(4):124-130.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

GUO Jingyi, YUE Yongjie, SHAO Jianxun, et al. Carbon Sequestration of Grass-Larix gmelinii Successive Cutting Forest [J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 124-130. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.04.021

Carbon Sequestration of Grass-Larix gmelinii Successive Cutting Forest

GUO Jingyi¹, YUE Yongjie¹, SHAO Jianxun², LI Jing³

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;
2. Linxi Bureau of Urban Management Comprehensive Law Enforcement, Linxi, Inner Mongolia 025250, China;
3. Baotou Bureau of Forestry and Grassland, Baotou, Inner Mongolia 014060, China)

Abstract: By taking the grass-Larix gmelinii successive cutting forest in the Great Khingan Mountains of Inner Mongolia as the research object, the characteristics and trends of biomass, carbon density, carbon sequestration rate and carbon sequestration potential of vegetation layer in different age groups were analyzed. The study showed that the change direction of carbon density was consistent with that of biomass, and the change range of biomass and carbon density in vegetation layer was 71.87-115.08 t/hm² and 51.48-68.97 t/hm², respectively, and the order of size of each layer was arbor layer>litter layer>shrub layer>herb layer. The carbon sequestration rate of vegetation layer varied from 0.96 to 2.75 t/(hm²·a), which gradually decreased with the increase of forest age. The carbon sequestration rate of arbor layer decreased significantly with the increase of stand age, and the range was 0.26-0.83 t/(hm²·a). The

收稿日期:2022-03-22;修回日期:2022-03-25;二次修回日期:2022-03-29.

基金项目:内蒙古自治区科技重大专项专题(2019ZD0070402).

第一作者:郭景怡(1996-),女,内蒙古呼伦贝尔人,硕士研究生.研究方向为森林生态学. Email:1677463559@qq.com

责任作者:岳永杰(1976-),男,内蒙古赤峰人,教授.主要从事森林生态学、水土保持学方面的研究与教学. Email:wolongyue@126.com

range of carbon sequestration rate of shrub layer and herb layer was 0.19–0.55 t/(hm²·a) and 0.39–1.87 t/(hm²·a). The total carbon sequestration potential of vegetation layer decreased with the increase of stand age, and varied from 3.61 to 21.11 t/hm².

Key words: biomass; carbon density; carbon sequestration rate; carbon sequestration potential; grass-*Larix gmelinii* successive cutting forest

全球气候变化背景下,联合国呼吁各国尽快实现“碳达峰”,减缓全球气候变化问题,根本在于如何降低大气中温室气体浓度,主要途径有两种:减少碳源和增加碳汇^[1],目前各国研究重点仍是通过增加碳汇来缓解全球气候变化所带来的压力^[8]。“碳达峰、碳中和”自 2021 年被列入我国生态文明建设的整体布局中,“双碳”背景下,森林的固碳能力引起学者们的广泛重视^[2]。森林作为陆地生态系统最大的碳库,具有很高的固碳能力,不仅能够维护区域生态环境的稳定,而且在全球碳循环与碳平衡中占有重要地位^[9–12]。同时,森林作为陆地生态系统的主体,固碳成本较低,具有巨大的减排增汇潜力,在减缓气候变化、参与能量循环、调节碳平衡、维护区域气候稳定等方面均具有不可替代的重要作用^[3–4]。

大兴安岭林区是我国四大国有林区之一,也是我国唯一的寒温带针叶林区和重要的生态功能区^[5–6];被誉为“北疆的绿色长城”和“祖国北疆的重要生态屏障”,作为我国开展全球生态学研究的重要前沿阵地,其固碳能力和生态地位较为重要^[7–8]。兴安落叶松作为大兴安岭林区的建群种和优势种,其在维持区域碳循环上发挥着重要作用^[9–10]。2014 年实施全面停止天然林商业性采伐后,中幼龄林向成熟林过渡,林龄结构发生长期动态变化,林分生物量碳储量和碳密度呈进一步上升趋势,碳动态与森林的演替阶段和林龄结构密切相关或将发挥更大的固碳能力^[19]。长期的渐伐使大兴安岭林区形成了大面积的渐伐次生林,而对于渐伐林不同林龄林下植被动态变化研究较少^[20],本研究以草类—兴安落叶松渐伐林为研究对象,测定和估算其生物量、碳密度、固碳速率及固碳潜力,并对其随龄组变化趋势进行分析,揭示其碳储量变化规律,明确森林固碳现状、速率和潜力,对合理经营和管理森林、提升森林固碳功能具有重要意义^[11–12]。

1 研究区概况

研究区位于大兴安岭地区根河市潮查林场境内,地理坐标为 50°11′~53°33′N,121°12′~127°00′E。

东、北与黑龙江接壤,西、南与呼伦贝尔毗邻。大兴安岭地区气候独特,属寒温带大陆性季风气候,地势东高西低,全年温差较大,最高年温差达 80℃。年日照时间 2 600 h;年有效积温 2 100℃;年均降雨量 460 mm。研究区土壤以灰色针叶林土为主,平均土层厚度在 35 cm 以上。森林面积约为 730 万 hm²,森林覆盖率近 80%。兴安落叶松是该地区的主要建群种,主要林型包括草类—兴安落叶松林、杜香—兴安落叶松林和杜鹃—兴安落叶松林。

2 研究方法

2.1 样地设置与生物量的测定

在 2020 年 7—8 月,在内蒙古大兴安岭地区潮查林场境内选取海拔、坡向、立地条件相近的草类—兴安落叶松林典型地段设置调查样地,将兴安落叶松林划分为 4 个龄组(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林),共设置 12 块(规格为 20 m×30 m)林分密度相近的固定样地进行调查(表 1)。

表 1 样地信息
Tab. 1 Information of sample land

龄组	海拔 /m	坡度 /(°)	坡位	林龄 /a	郁闭度 /%
幼龄林	845	<5	上坡	25	75
幼龄林	844	<5	上坡	30	74
幼龄林	846	<5	中上坡	35	71
中龄林	831	<5	中上坡	78	65
中龄林	832	<5	中上坡	80	69
中龄林	833	<5	中上坡	76	71
近熟林	792	<5	中坡	92	50
近熟林	791	<5	中坡	97	48
近熟林	785	<5	中坡	99	49
成熟林	840	<5	上坡	133	46
成熟林	836	<5	中上坡	113	43
成熟林	833	<5	上坡	118	45

生物量测定分为乔木层、灌木层、草本层及枯落

物的测定。

2.1.1 乔木层的测定

对样地里胸径 ≥ 5 cm 的树木每木检尺,记录其胸径、树高,利用已构建的异速生长方程^[13],求得各龄组样地内乔木层各器官生物量及总生物量。公式为:

$$W = a(D^2H)^b \quad (1)$$

式中: a 、 b 为系数; D 为平均胸径; H 为平均树高。

不同组分 a 、 b 两值存在差异(表 2)。

表 2 不同器官生物量回归模型

Tab. 2 Regression models of biomass of different organs

器官	生长方程
树干	$W = 0.024(D^2H)^{0.962}$
树枝	$W = 0.016(D^2H)^{0.719}$
树皮	$W = 0.003(D^2H)^{0.775}$
树枝	$W = 0.003(D^2H)^{0.775}$

2.1.2 灌木层、草本层及枯落物的测定

灌木部分的生物量采用“收获法”来测定,林下层生物量测定时分别在样地中心和 4 个角设置 5 个小样方,调查样方内所有灌木和草本及枯落物。草本层分为地上部分和地下部分进行称重和取样。枯落物采用直接收集法,收集样方内所有地表枯落物(包括未分解层和半分解层),称得所有样品的鲜重,然后将样品装入样品袋带回实验室放置于 85℃ 烤箱中干燥至恒重,继而测得样品干重,计算得出样品的含水率。利用取样的鲜重与烘干后的恒定质量的差值算出干物质质量,即生物量。

2.2 碳密度的计算

在已获得各龄组草类—兴安落叶松渐伐林各层次生物量的基础上,采用“生物量 $\times$ 含碳率”求得不同龄组样地内各器官的碳密度及总碳密度^[14],公式为:

$$D = B \times R \quad (2)$$

式中: D 为碳密度; B 为林分生物量; R 为各组分含碳率($R_{\text{树干}}$ 为 0.46, $R_{\text{树枝}}$ 为 0.49, $R_{\text{树皮}}$ 为 0.49, $R_{\text{树叶}}$ 为 0.52, $R_{\text{树根}}$ 为 0.41,地上部分含碳率取平均值)。

2.3 固碳速率的计算

区域尺度上森林生态系统的固碳速率还未形成完备的计算方法体系^[25],植被层的固碳速率通常采用“时间序列法”进行计算,即采用不同时期森林植被层碳密度的变化量来推算固碳速率,“该龄组碳密度变化量/该龄组树木生长年龄”即为其固碳速

率,公式为:

$$CSR = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

式中:CSR 为固碳速率; $C_2 - C_1$ 为碳密度变化量; $t_2 - t_1$ 为单位时间。

2.4 固碳潜力的估算

采用“最大值法”对草类—兴安落叶松渐伐林固碳潜力的大小进行估算。以各龄组中最大碳密度作为固碳潜力的参考值,其余各龄组的碳密度作为初始固碳潜力,计算两者的差值得到固碳潜力的大小,林下植被层固碳潜力也采取同样的估算方式^[15-16],公式为:

$$CSP = CSr - CS \quad (4)$$

式中:CSP 为森林固碳潜力;CSr 为林分参考密度;CS 为林分初始碳密度。

3 结果与分析

3.1 草类—兴安落叶松渐伐林生物量分配特征

林分植被层生物量随年龄的增长而增加(表 3),各层次生物量大小顺序为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层。乔木层生物量约占全部植被层的 89.61%,生物量范围在 70.58~82.89 t/hm²。不同龄组乔木层生物量均占有绝对比重,幼龄林时所占比例最小,为 98.2%,成熟林时所占比例最大,为 99.24%。林下植被层生物量呈枯落物>灌木>草本的变化趋势,约占整个植被层的 10.39%,生物量范围在 0.63~1.40 t/hm²。

表 3 不同龄组植被层生物量占比

Tab. 3 Proportion of vegetation layer biomass of different age groups

龄组	乔木层	灌木层	草本层	枯落物层
幼龄林	98.200	0.170	0.125	1.505
中龄林	98.396	0.052	0.038	1.514
近熟林	98.307	0.062	0.040	1.591
成熟林	99.241	0.029	0.002	0.728

3.1.1 乔木层生物量器官分配特征

乔木层生物量随林龄的增长而逐渐增大,成熟林时达到最大值,为 82.89 t/hm²,幼龄林时生物量最小,为 70.58 t/hm²,中龄林和近熟林分别为 76.68 t/hm² 和 81.58 t/hm²。从幼龄林到成熟林其生物量分别占林分总生物量的 98.2%、98.4%、98.3%、99.4%,与此同时,不同龄组的乔木层因器官的不同

生物量也存在差异。随着林龄的增加,各器官的生物量总体呈上升趋势,而同一发育阶段的草类—兴安落叶松渐伐林的各器官生物量也总体符合树干>树根>树枝>树皮>树叶的一般规律。不同林龄时

期树干、树根、树枝、树皮、树叶的生物量范围分别为 $10.58 \sim 38.24 \text{ t/hm}^2$ 、 $11.75 \sim 19.19 \text{ t/hm}^2$ 、 $8.01 \sim 14.59 \text{ t/hm}^2$ 、 $9.04 \sim 14.51 \text{ t/hm}^2$ 、 $3.54 \sim 5.53 \text{ t/hm}^2$ (图1)。

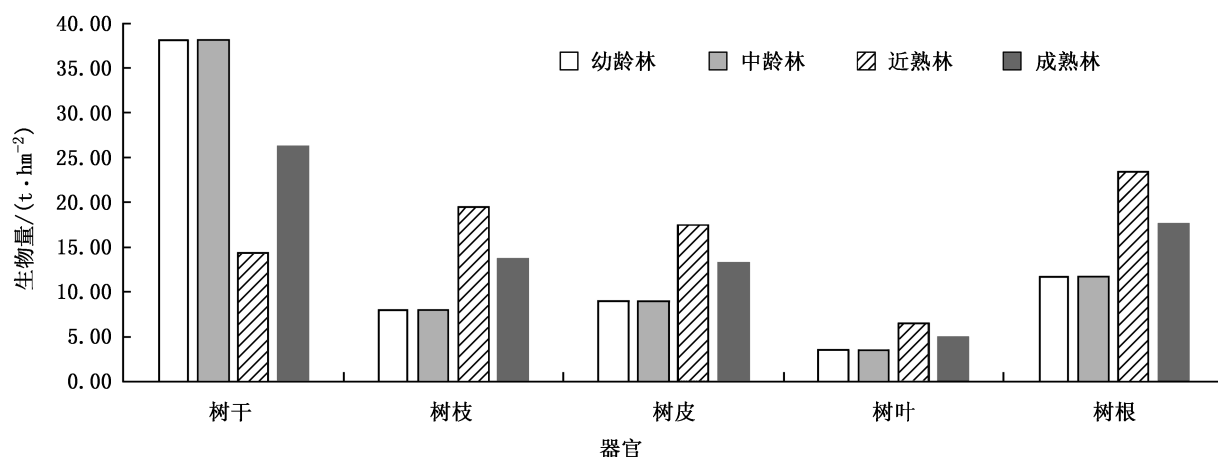


图1 乔木层各器官生物量

Fig. 1 Biomass of organs in arbor layer

3.1.2 林下植被层生物量器官分配特征

林下植被层生物量随林龄的增加呈下降趋势。从幼龄林到成熟林的灌木层生物量分别为 0.12、0.05、0.04、0.02 t/hm^2 。草本层生物量分别为 0.089、0.033、0.029、0.001 t/hm^2 。枯落物部分未分解层的生物量远高于半分解层的生物量,而同一生长阶段枯落物部分的总生物量则呈近熟林>幼龄林>中龄林>成熟林的变化特征,其生物量分别为 1.32 t/hm^2 (未分解层为 1.08 t/hm^2 , 半分解层为 0.24 t/hm^2)、1.09 t/hm^2 (未分解层为 0.92 t/hm^2 , 半分解层为 0.17 t/hm^2)、1.18 t/hm^2 (未分解层为 0.96 t/hm^2 , 半分解层为 0.22 t/hm^2)、0.61 t/hm^2 (未分解层为 0.49 t/hm^2 , 半分解层为 0.11 t/hm^2)。

3.2 草类—兴安落叶松渐伐林碳密度分配特征

林分碳密度随林龄的增加而增大,从幼龄林到成熟林分别为 51.48、57.96、58.83、68.97 t/hm^2 。中龄林到近熟林时碳密度增势比较缓慢,到成熟林时碳密度增势较为明显。成熟林时林分植被层碳密度达到最大值(图2)。

3.2.1 乔木层碳密度分配

相同生长阶段的草类—兴安落叶松渐伐林的乔木层各器官碳密度大小排序为:树干>树根>树皮>树枝>树叶。随着林龄不断增加,地上和地下部分的总碳密度呈增大趋势,但各器官碳密度的变化规

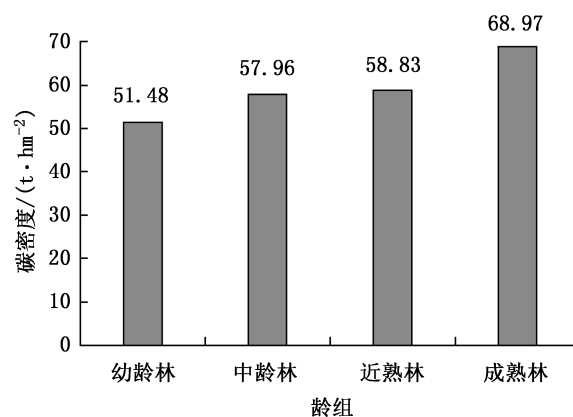


图2 各龄组碳密度分配

Fig. 2 Distribution of carbon density in different age groups

律不明显。树干的碳密度为 6.35~17.59 t/hm^2 , 约占整个林分的 34.5%; 树枝的碳密度为 3.92~9.38 t/hm^2 ; 树叶的碳密度为 1.84~7.14 t/hm^2 ; 树根的碳密度为 4.82~10.36 t/hm^2 ; 地上部分的碳密度为 19.16~29.51 t/hm^2 ; 各样地内的总碳密度为 26.06~37.96 t/hm^2 。从近熟林到成熟林, 树干的碳密度增加比较明显, 且树干的碳密度占比较大(表4)。

3.2.2 林下植被层碳密度分配

灌木层碳密度变化范围为 1.64~3.58 t/hm^2 , 其中灌木层从幼龄林到成熟林分别是 2.20、0.77、1.04、1.25 t/hm^2 , 草本层的碳密度变化范围为 0.39~

表 4 乔木层碳密度器官分配

Tab. 4 Organ allocation of carbon density in

龄组	arbor layer					地上部分	总碳密度
	树干	树枝	树皮	树叶	树根		
幼龄林	17.59	3.92	4.43	1.84	4.82	28.24	33.06
中龄林	10.64	7.15	4.70	2.87	10.36	25.36	35.72
近熟林	6.35	9.38	8.24	3.47	9.41	26.12	35.54
成熟林	9.67	8.41	8.32	7.14	8.71	10.73	36.78

1.87 t/hm²。林下植被在长期生长过程中受郁闭度、光照、水分、土壤养分等诸多因素的影响,其变化规律较为复杂。在各生长阶段,枯落物层的碳密度始终占比较大,超过了灌木层和草本层的碳密度。在幼龄林时枯落物的碳密度最小,为 14.85 t/hm² (其中未分解层为 12.80 t/hm²,半分解层为 2.05 t/hm²);在成熟林时达到最大值,为 30.55 t/hm² (其中未分解层为 5.68 t/hm²,半分解层为 24.87 t/hm²);在中龄林和近熟林时分别为 17.37、20.84 t/hm²。成熟林时碳密度最大现象的原因主要为:当林分处于成熟林时,乔木层、灌木层、草本层会有较多的凋落物,如果实、成熟叶子、凋落枯折的粗枝等,这样增大了枯落物层的生物量。

3.3 草类—兴安落叶松渐伐林固碳速率

植被层固碳速率呈随林龄的增加而逐渐递减的趋势,各生长阶段的固碳速率变化范围为 0.96 ~ 2.75 t/(hm²·a)。乔木层固碳速率随林龄的增加而减小的变化趋势较为明显。固碳速率变化范围为 0.26~0.83 t/(hm²·a);灌木层、草本层的固碳速率范围分别为 0.19~0.55 t/(hm²·a) 和 0.39~1.87 t/(hm²·a) (图 3)。

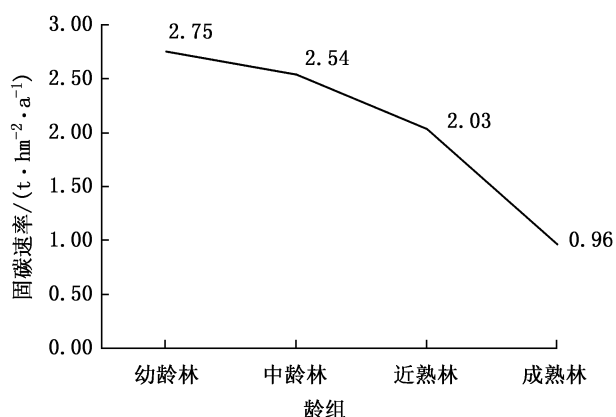


图 3 各龄组植被层固碳速率

Fig. 3 Carbon sequestration rate of vegetation layer in different age groups

3.3.1 乔木层固碳速率特征

乔木层固碳速率呈随林龄的增加而减小的变化趋势,幼龄林到中龄林的变化趋势最为显著,由 0.83 t/(hm²·a) 减小到 0.47 t/(hm²·a)。在中龄林向近熟林变化过程中,固碳速率的变化趋势相对比较平缓,由 0.47 t/(hm²·a) 减小到 0.36 t/(hm²·a)。由近熟林向成熟林转变时,乔木层的固碳速率最小,由 0.36 t/(hm²·a) 减小到 0.26 t/(hm²·a)。说明在幼龄林时,林木生长迅速、生长空间大,固碳速率也较大;到成熟林时,林木的生长基本趋于饱和,生长空间最小,其固碳速率也最小(图 4)。

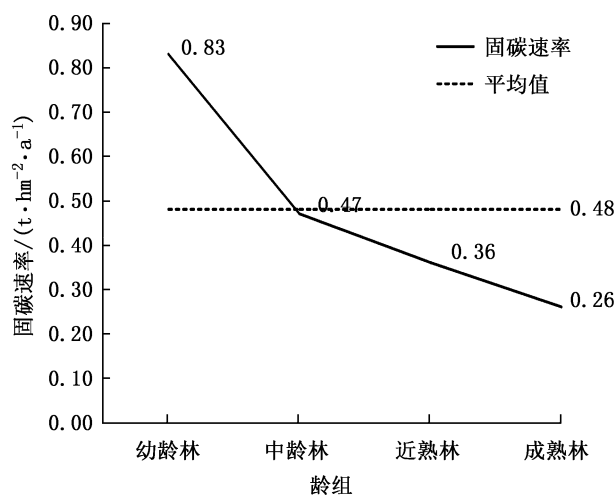


图 4 乔木层固碳速率

Fig. 4 Carbon sequestration rate of arbor layer

3.3.2 林下植被层固碳速率特征

林分从幼龄林到成熟林生长过程中,灌木层的固碳速率呈先减小后增加的变化趋势,幼龄林时为 0.55 t/(hm²·a)、中龄林时为 0.19 t/(hm²·a)、近熟林时为 0.26 t/(hm²·a)、成熟林时为 0.31 t/(hm²·a)。

随着龄组的增大,草本层固碳速率呈先增大后减小的趋势,在幼龄林时为 1.37 t/(hm²·a)、中龄林时为 1.87 t/(hm²·a)、近熟林时为 1.42 t/(hm²·a)、成熟林时为 0.39 t/(hm²·a)。由此可见,草本层的固碳速率在中龄林时达到最大值,而在成熟林时固碳速率最小(表 5)。

3.4 草类—兴安落叶松渐伐林的固碳潜力

林分植被层的固碳潜力呈随林龄增加而逐渐减小的变化趋势,变化范围为 3.61~21.11 t/hm²。从幼龄林到成熟林的生长过程中,林分植被层的固碳潜力分别为 21.11、14.62、13.75、3.61 t/hm²。林分植被层在幼龄林时的固碳潜力最大,中龄林和近

表 5 林下植被固碳速率
Tab. 5 Carbon sequestration rate of
understory vegetation $t/(hm^2 \cdot a)$

	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林
灌木层	0.55	0.19	0.26	0.31
草本层	1.37	1.87	1.42	0.39

熟林时呈缓慢下降趋势,到成熟林时下降趋势尤为明显,因而成熟林时的固碳潜力最小(图 5)。

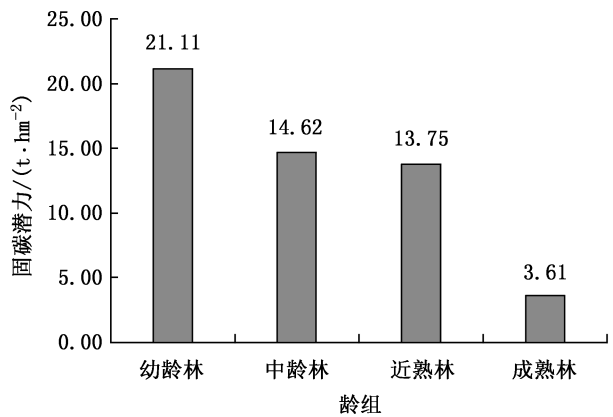


图 5 植被层固碳潜力
Fig. 5 Carbon sequestration potential of
vegetation layer

3.4.1 乔木层固碳潜力

林分乔木层的固碳潜力是全部植被层固碳潜力的主体,其变化趋势随林龄的增加而减小。幼龄林时乔木层处于生长旺盛阶段的固碳潜力最大,为 $4.90 t/hm^2$,近熟林时乔木层的固碳潜力明显下降,降为 $2.42 t/hm^2$,成熟林时乔木层生长缓慢,乔木层的固碳潜力下降至最低值,为 $1.18 t/hm^2$ 。

3.4.2 林下植被层固碳潜力

不同龄组林下植被的碳密度存在明显差异,中龄林灌木层的固碳潜力为 $1.44 t/hm^2$,近熟林灌木层的固碳潜力为 $1.16 t/hm^2$,成熟林灌木层的固碳潜力为 $0.95 t/hm^2$,呈逐渐下降的变化趋势。

中龄林时的草本层具有最大碳密度,将其碳密度作为草本层固碳潜力的参考值,得到幼龄林、近熟林、成熟林状态下的草本层固碳潜力分别为 0.50 、 0.45 和 $1.49 t/hm^2$,草本层固碳潜力变化趋势不明显。

枯落物层的固碳潜力随林龄的增加而降低,幼龄林时的固碳潜力达到最大值,为 $15.70 t/hm^2$,中

龄林时的固碳潜力为 $13.19 t/hm^2$,近熟林时下降至 $9.72 t/hm^2$ 。

4 结 论

1) 植被层生物量范围为 $71.87 \sim 115.08 t/hm^2$,各层次生物量大小顺序为:乔木层($70.58 \sim 82.89 t/hm^2$)>枯落物层($0.61 \sim 1.32 t/hm^2$)>灌木层($0.02 \sim 0.12 t/hm^2$)>草本层($0.001 \sim 0.09 t/hm^2$);其中,乔木层生物量范围为 $70.58 \sim 82.89 t/hm^2$;林下植被层生物量范围为 $0.63 \sim 1.40 t/hm^2$;植被层碳密度大小顺序为:乔木层($33.06 \sim 36.78 t/hm^2$)>枯落物层($14.85 \sim 30.56 t/hm^2$)>灌木层($0.77 \sim 2.20 t/hm^2$)>草本层($0.39 \sim 1.87 t/hm^2$);乔木层占全部植被层生物量的 60.41% ,林下植被层占 39.59% 。

2) 从幼龄林到成熟林,植被层固碳速率分别为 2.75 、 2.54 、 2.03 、 $0.96 t/(hm^2 \cdot a)$,随林龄的增加呈逐渐递减趋势。乔木层的固碳速率为 $0.26 \sim 0.836 t/(hm^2 \cdot a)$,随林龄的增加而减小的变化趋势较为明显。灌木层在幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林时固碳速率分别为 0.55 、 0.19 、 0.26 、 $0.31 t/(hm^2 \cdot a)$;草本层在幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林时的固碳速率分别为 1.37 、 1.87 、 1.68 、 $0.70 t/(hm^2 \cdot a)$ 。

3) 植被层固碳潜力随林龄的增加而减小。幼龄林时的固碳潜力为 $21.11 t/hm^2$;成熟林时的固碳潜力为 $3.61 t/hm^2$;中龄林和近熟林时的固碳潜力分别为 $14.62 t/hm^2$ 和 $13.75 t/hm^2$ 。植被层在幼龄林时的固碳潜力最大,在成熟林时的固碳潜力最小。

5 讨 论

森林生物量的研究是对森林能力评估的基础研究,森林的碳密度、固碳速率、固碳潜力均在基于生物量测算基础上进行。本研究采用“异速生长法”对生物量进行计算,得出乔木层生物量随林龄的增长的变化规律,这与胡海清^[23]等在大兴安岭 5 种林型下不同林龄阶段生物量研究的结果一致。碳密度的变化趋势与生物量是同步的,随着林龄的增加,林分的碳密度也逐渐增加,这与魏亚伟^[24]等对碳密度变化规律的研究一致。由于林下植被的生长受到郁闭度、温度、水分、土壤养分等因素的影响,其固碳速率的变化无具体的规律可寻。本研究对大兴安岭草类—兴安落叶松渐伐林的固碳潜力进行了估算,结果显示,随林龄的增加,植被层的固碳潜力呈下降趋

势,幼龄林时的固碳潜力最大,成熟林时的固碳潜力最小,由于立地条件、生长环境、光照、降水等因素的不同而呈现不同的动态变化,林龄的不同与树种的不同都使固碳速率、固碳潜力存在差异。本研究未对土壤层和微生物群落的固碳速率及固碳潜力进行研究,这在一定程度上影响了对森林生态系统固碳规律的总体认知。

参考文献:

- [1] 秦国伟,田明华. “双碳”目标下林业碳汇的发展机遇及实施路径[J]. 行政管理改革, 2022(1): 45-54.
- [2] HOUGHTON J T, CLIMATE C. The scientific basis[J]. *Netherlands Journal of Geosciences*, 2001, 87: 197-199.
- [3] 谢馨瑶,李爱农,靳华安. 大尺度森林碳循环过程模拟模型综述[J]. 生态学报, 2018, 38(1): 1-14.
- [4] 王枫. 浙江省杉木林碳汇供给潜力研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [5] DIXON R K, SOLOMON A M, BROWN S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem[J]. *Science*, 1994, 63: 185-190.
- [6] 王邵军,阮宏华. 全球变化下北京森林生态系统碳循环及其管理[J]. 南京林业大学学报, 2001, 35(2): 113-116.
- [7] 周国逸. 中国森林生态系统固碳现状、速率和潜力研究[J]. 植物生态学报, 2016, 40(4): 279-281.
- [8] 王飞,刘璇,张秋良. 兴安落叶松林植被层碳密度分配及固碳潜力[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(1): 32-36.
- [9] 格日乐高娃,杜香—兴安落叶松林碳密度及固碳潜力研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [10] 李丹,杨丽萍,贾成朕. 大兴安岭不同林型地表可燃物含水率特征及其影响因子[J]. 干旱气象, 2021, 39(1): 144-150.
- [11] 包田梅. 兴安落叶松林采伐迹地植被恢复研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [12] 张俊. 兴安落叶松人工林群落结构、生物量与碳储量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [13] 陈晓凤. 北京市乔木林碳储量及其固碳潜力研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [14] NI J. Carbon storage in Chinese terrestrial ecosystems: Approaching a more accurate estimate[J]. *Climatic Change*, 2013, 119: 905-917.
- [15] 李威,黄玫,张远东,等. 中国国家森林公园碳储量及固碳速率的时空动态[J]. 应用生态学报, 2021, 32(3): 799-809.
- [16] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等. 大兴安岭 5 种典型林型森林生物碳储量[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5745-5760.
- [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.

责任编辑: 许易琦

(上接第 123 页)

- [7] 邱玥,周苏洋,顾伟,等. “碳达峰、碳中和”目标下混氢天然气技术应用前景分析[J/OL]. 中国电机工程学报, 2021: 1-20. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20211102.1629.005.html>.
- [8] 罗爱明,王懋雄. 对金融支持生态示范区生态产品价值实现的思考[J/OL]. 西南金融, 2021: 1-12. [2021-11-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1587.F.20211101.1536.014.html>.
- [9] 徐高,曹建海. “双碳”背景下我国绿色债券发展研究[J/OL]. 当代经济管理, 2021: 1-16. [2021-11-18]. [<http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1356.F.20211028.1628.004.html>].
- [10] 刘彬. 中国实现碳达峰和碳中和目标的基础、挑战和政策路径[J]. 价格月刊, 2021(11): 87-94.

责任编辑: 许易琦